

Die Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle

Ein Vergleich maschineller und manueller Aufbereitungen

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Ulrike Nestler

geboren am 02.01.1979 **in** Zwickau

Gutachter

1. Prof. Dr. E. Glockmann, Jena
2. PD Dr. W. Reinhardt, Jena
3. Prof. Dr. E. Schäfer, Münster

Tag der öffentlichen Verteidigung: 03. April 2007

Für meine Eltern

1 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	- Abbildung
C	- Kohlenstoff
CD	- Crown-Down-Technik
CO₂	- Kohlenstoffdioxid
Cr	- Chrom
DIN	- Deutsche Industrie-Norm
Er:YAG	- Erbium: Yttrium-Aluminium-Granat
ES	- Edelstahl
Fe	- Eisen
FF	- <i>K-Flexofiles</i> [®]
FM	- <i>FlexMaster</i> [®]
FR	- <i>Flexoreamer</i> [®]
H₂O₂	- Wasserstoffperoxid
Ho:YAG	- Holmium: Yttrium-Aluminium-Granat
HV	- Härte nach Vickers
Hz	- Hertz
ISO	- International Organization for Standardization
kV	- Kilovolt
Laser	- light amplification by stimulated emission of radiation
mA	- Milliampere
min	- Minute
min⁻¹	- pro Minute
m%	- Masseprozent
ml	- Milliliter
mm	- Millimeter
Mn	- Mangan
Mo	- Molybdän
Mp	- Messpunkt
NaOCl	- Natriumhypochlorit
Nd:YAG	- Neodym: Yttrium-Aluminium-Granat
Ni	- Nickel

NiTi	- Nickel-Titan
NiTINOL	- Akronym, das die Elemente N ickel und T itan bezeichnet, aus denen im N aval O rdnance L aboratory (Silver Spring, USA) eine neuartige Legierung entwickelt wurde (Schäfer 1998a)
s	- Sekunde
SB	- Step-Back-Technik
SCS	- space craft steel
Si	- Silicium
St.-abw.	- Standardabweichung
Tab.	- Tabelle
UpM	- Umdrehungen pro Minute
<	- kleiner als
>	- größer als
≤	- kleiner / gleich

2 Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Abkürzungsverzeichnis	4
2 Inhaltsverzeichnis	6
3 Zusammenfassung	9
4 Einleitung	11
4.1 Anatomie der Wurzelkanäle	11
4.1.1 Wurzelkanalsystem	11
4.1.2 Wurzelkanalkrümmung	14
4.1.3 Zugangskavität	15
4.2 Grundlagen der Endodontie	17
4.2.1 Indikation und Kontraindikation der Wurzelkanalbehandlung	17
4.2.2 Ziele der Wurzelkanalbehandlung und Forderungen an die Aufbereitung	17
4.2.3 Der gekrümmte Wurzelkanal – Probleme bei der Aufbereitung	19
4.3 Aufbereitungsinstrumente und -methoden	20
4.3.1 Werkstoffkunde und Eigenschaften der Instrumente	20
4.3.2 Normung	22
4.3.3 Aufbereitungstechniken	25
4.3.4 Aufbereitungsinstrumente	28
4.3.4.1 Manuelle Aufbereitung	28
4.3.4.2 Maschinelle Aufbereitung	33
4.3.4.3 Laser und nichtinstrumentelle Techniken	38
5 Ziele der Arbeit	40
6 Material und Methoden	42
6.1 Aufbau der Versuchsreihen	42
6.1.1 Verwendung von Kunststoffblöcken	43
6.1.2 Auswahl der extrahierten Zähne	44

6.2	Die maschinelle Aufbereitung mit dem <i>EndoStepper</i> [®]	46
6.2.1	Arbeitsweise des <i>VDW EndoStepper</i> [®]	46
6.2.2	<i>FlexMaster</i> [®] -Feilen	47
6.2.3	Wurzelkanalaufbereitung mit dem <i>VDW EndoStepper</i> [®] und <i>FlexMaster</i> [®] -Feilen	47
6.2.4	Fehlervermeidung	49
6.3	Die maschinelle Aufbereitung mit dem <i>KaVo ENDOfash</i> [®]	49
6.3.1	Aufbau und Funktion des Winkelstückes	49
6.3.2	<i>KaVo ENDOfash</i> [®] -Feilen	50
6.3.3	Wurzelkanalaufbereitung mit dem <i>KaVo ENDOfash</i> [®]	50
6.3.4	Fehlervermeidung	51
6.4	Handaufbereitung	51
6.4.1	Feilen zur Handaufbereitung	51
6.4.2	Aufbereitungstechniken	51
6.5	Messverfahren	52
6.5.1	Arbeitslänge	52
6.5.2	Aufbereitungszeit	52
6.5.3	Veränderung der Kanalform	53
6.5.3.1	Krümmungswinkel	53
6.5.3.2	Ausmessung des Materialabtrags	54
6.5.4	Arbeitssicherheit	54
6.6	Statistische Auswertung	54
7	Ergebnisse	56
7.1	Aufbereitung vorgefertigter Wurzelkanäle im Kunststoffmodell	56
7.1.1	Verkürzung der Arbeitslänge	56
7.1.2	Aufbereitungszeit	57
7.1.3	Veränderung der Kanalform	60
7.1.3.1	Krümmungswinkel	60
7.1.3.2	Materialabtrag an Innen- und Außenkurvatur	63
7.1.3.3	Nichterweiterte Bereiche	66
7.1.4	Arbeitssicherheit	68

7.2	Aufbereitung von Wurzelkanälen extrahierter Zähne	68
7.2.1	Verkürzung der Arbeitslänge	68
7.2.2	Aufbereitungszeit	69
7.2.3	Veränderung der Kanalform	72
7.2.3.1	Krümmungswinkel	72
7.2.3.2	Materialabtrag an Innen- und Außenkurvatur	75
7.2.3.3	Nichterweiterte Bereiche	77
7.2.4	Arbeitssicherheit	79
7.2.5	Auffälligkeiten bei der Aufbereitung	79
8	Diskussion	80
8.1	Arbeitslänge	80
8.2	Aufbereitungszeit	83
8.3	Kanalform	87
8.3.1	Krümmungswinkel	87
8.3.2	Materialabtrag und nichterweiterte Bereiche	89
8.4	Arbeitssicherheit	93
9	Schlussfolgerungen	96
10	Literatur- und Quellenverzeichnis	98
11	Anhang	117

3 Zusammenfassung

Den Anforderungen an eine Wurzelkanalaufbereitung – Beibehaltung des ursprünglichen Kanalverlaufs, zirkulärer Materialabtrag, konische Präparation und vollständige Reinigung – gerecht zu werden ist bei gekrümmten Kanälen schwierig. Unerwünschte Veränderungen wie Kanalbegradigung, Verkürzung der Arbeitslänge und andere Aufbereitungsfehler sind darauf zurückzuführen, dass Instrumente, je stärker sie gebogen werden, das Bestreben haben, sich zu begradigen. Es treten Kräfte auf, die unkompensiert im mittleren und apikalen Drittel des Wurzelkanals zu Formveränderungen führen. Ein Vorbiegen der Feilen und Arbeiten entgegen der Kraftentfaltung, sog. „anticurvature filing“, kann diese Fehler minimieren, ist aber auch mit einem hohen Zeitaufwand verbunden.

Deshalb werden zur Arbeitserleichterung immer wieder neue Materialien und Systeme auf den Dentalmarkt gebracht. So fand z.B. Nickel-Titan aufgrund seiner hohen Flexibilität als Werkstoff Einzug in die Endodontie. Das Feilendesign wurde durch verschiedene Konizitäten, nichtschneidende Spitzen und kürzere Arbeitsteile modifiziert, und die Arbeitssicherheit sollte durch die Verwendung von Antrieben mit Drehmomentbegrenzung erhöht werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, solche Neuentwicklungen zur Wurzelkanalaufbereitung zu verwenden und hinsichtlich ihrer Arbeitssicherheit, Aufbereitungszeit und Beibehaltung der originären Kanalform zu untersuchen, miteinander zu vergleichen und in die auf dem Markt befindlichen Systeme einzuordnen. Dabei galt es zu beurteilen, ob die maschinelle Aufbereitung der Handinstrumentation in Bezug auf Präparationszeit und Arbeitssicherheit überlegen ist, welche Kombination Instrument/Methode die besten Aufbereitungsergebnisse zeigt und ob der neue Werkstoff Nickel-Titan gegenüber anderen Legierungen wegen seiner Flexibilität Vorteile zeigt.

Dazu wurden folgende Geräte und Instrumente zur maschinellen Aufbereitung genutzt:

- Der drehmomentbegrenzte Antrieb *EndoStepper*[®] der Firma S.E.T. (Olching) mit *FlexMaster*[®]-Feilen (VDW München), die in den ISO-Größen 20 – 35 drei verschiedenen Konizitäten (2%, 4%, 6%) aufweisen und in der Crown-Down-Technik angewandt werden,

- das *ENDOflash*[®]-Winkelstück (KaVo/Biberach), an dem über einen Stellring das der Feile entsprechende Drehmoment eingestellt wird. Aufbereitet wurde in Verbindung mit *ENDOflash*[®]-Instrumenten aus Edelstahl und Nickel-Titan jeweils in Step-Back und Crown-Down.

Zum Vergleich wurde manuell, ebenfalls mit der Step-Back- und Crown-Down-Methode, mit *K-Flexofiles*[®] und *Flexoreamern*[®] der Firma *Dentsply/Maillefer* (Ballaigues/CH) präpariert. Es handelt sich dabei um Handinstrumente aus Edelstahl mit einer nichtschneidenden Spitze.

In einer ersten Versuchsreihe wurden normierte Wurzelkanäle in Kunststoffblöcken aufbereitet, im zweiten Teil der Untersuchungen wurden gekrümmte Kanäle extrahierter Zähne verwendet, um die klinische Relevanz zu überprüfen. Es wurden Instrumentenfrakturen, Materialabtrag an Innen- und Außenkurvatur, Kanalbegradigung, Verkürzung der Arbeitslänge und Aufbereitungszeit analysiert und zwischen den einzelnen Kombinationen Feilen/Aufbereitungstechnik verglichen.

Die eigenen Ergebnisse zeigen in beiden Versuchsreihen eine deutliche Zeitersparnis bei der maschinellen Aufbereitung. Außerdem senkt die Verwendung von drehmomentbegrenzten Motoren die Gefahr von Instrumentenbrüchen gegenüber der Handaufbereitung. Edelstahlfeilen weisen eine höhere Schneidleistung und somit einen größeren Materialabtrag mit besserer Reinigungswirkung als Instrumente aus Nickel-Titan auf, wobei letztere die ursprüngliche Kanalform besser beibehalten und weniger unerwünschte Kanalveränderungen bei der Präparation gekrümmter Kanäle zeigen. Bei Aufbereitung nach der Crown-Down-Technik sinkt die Anzahl der Feilenfrakturen und weist im Vergleich zur Step-Back-Technik eine schnellere Präparation mit besserer Beibehaltung des originären Kanalverlaufs auf.

Für die Wurzelkanalaufbereitung gekrümmter Kanäle kann die Verwendung von maschinell betriebenen Nickel-Titan-Feilen in der Crown-Down-Technik empfohlen werden, wenn begleitend eine intensive Spülung des Kanals durchgeführt wird.

4 Einleitung

4.1 Anatomie der Wurzelkanäle

Zu Beginn einer jeden Wurzelkanalbehandlung ist es Grundvoraussetzung, über die genaue Lage, Anzahl und Verlauf der Wurzelkanäle am entsprechenden Zahn Bescheid zu wissen, um Misserfolge z.B. aufgrund übersehener Wurzelkanäle, Legen einer Via falsa oder von Perforationen zu vermeiden (Beer et al. 2004).

4.1.1 Wurzelkanalsystem

Unabhängig von der Anzahl der Wurzeln variiert die Zahl der Kanäle, auch innerhalb einer Wurzel. Eine Übersicht geben die Tabellen 1a + 1b. Auch die Wahrscheinlichkeit, mit der bei der entsprechenden Zahl an Wurzeln mit variabler Anzahl von Kanälen zu rechnen ist, ist in dieser Tabelle ablesbar.

Tab. 1a: Anzahl der Wurzeln und Wurzelkanäle bleibender Zähne im Oberkiefer (v. Velzen et al. 1988; Trondstad 2003)

<u>Zahn</u>	<u>Anzahl Wurzeln</u>	<u>Anzahl Kanäle</u>	<u>Besonderheiten</u>
Mittlerer oberer Schneidezahn	1 (100%)	1 (100%)	- nahezu runder Kanal - Wurzel meistens, Wurzelkanal bei 13% der Zähne gerade
Seitlicher oberer Schneidezahn	1 (99,9%)	1 (99,9%)	- Kanalquerschnitt oval - Wurzel häufig, Kanal fast immer gekrümmt
Oberer Eckzahn	1 (99,9%)	1 (99,9%)	- Wurzel und Wurzelkanal im apikalen Teil meistens gekrümmt - Wurzellänge oft mehr als 30 mm
Erster oberer Prämolare	1 (19%) 2 (80%) 3 (1%)	1 (4%) 2 (95%) 3 (1%)	- erschwerte Aufbereitung durch verschiedenste Wurzelkanalkonfigurationen
Zweiter oberer Prämolare	1 (90%) 2 (9%) 3 (3%)	1 (75%) 2 (24%) 3 (1%)	- erschwerte Aufbereitung durch verschiedenste Wurzelkanalkonfigurationen
Erster oberer Molar	2 (15%) 3 (85%)	3 (60%) 4 (40%)	- vierter Kanal meist in mesiobukkalen Wurzel; in 3% der Fälle hat distobukkalen Wurzel einen zweiten Kanal
Zweiter oberer Molar	1 (1%) 2 (19%) 3 (80%)	1 (1%) 2 (2%) 3 (57%) 4 (40%)	

Tab. 1b: Anzahl der Wurzeln und Wurzelkanäle bleibender Zähne im Unterkiefer (v. Velzen et al. 1988; Trondstad 2003)

<u>Zahn</u>	<u>Anzahl Wurzeln</u>	<u>Anzahl Kanäle</u>	<u>Besonderheiten</u>
Mittlere und seitlicher unterer Schneidezahn	1 (100%)	1 (60%) 2 (40%)	- Wurzel in mesiodistaler Richtung stark abgeplattet - Querschnitt oval; in der Mitte oft eingeschnürt
Unterer Eckzahn	1 (98%) 2 (2%)	1 (94%) 2 (6%)	
Erster unterer Prämolare	1 (98%) 2 (2%)	1 (94%) 2 (6%)	- komplexe Kanalkonfigurationen
Zweiter unterer Prämolare	1 (100%)	1 (89%) 2 (10%) 3 (1%)	- komplexe Kanalkonfigurationen
Erster unterer Molar	2 (98%) 3 (2%)	2 (13%) 3 (80%) 4 (7%)	- mesiale Wurzel meist distale Krümmung - Kanäle einer Wurzel durch zahlreiche Anastomosen miteinander verbunden
Zweiter unterer Molar	1 (15%) 2 (84%) 3 (1%)	1 (3%) 2 (13%) 3 (77%) 4 (7%)	

Auch innerhalb einer Wurzel gibt es eine Vielzahl anatomischer Varianten zu Verlauf und Lage der Kanäle. Eine einfache und klinisch orientierte Einteilung stammt von *Weine* (1982), die 4 Typen von Wurzelkanalkonfigurationen beschreibt (Hellwig et al. 1999; Klimm 2003). Auf der Grundlage von 2.400 extrahierten Zähnen entwickelte *Vertucci* 1984 eine Klassifikation, bei der in der Einzelwurzel zwischen 8 Wurzelkanaltypen unterschieden wird (Klimm 2003; Beer et al. 2004) (Abb. 1):

- Typ I: 1 einzelner Kanal
- Typ II: 2 separate Kanäle vereinigen sich kurz vor dem Apex zu einem Kanal
- Typ III: 1 Kanal teilt sich innerhalb der Wurzel und vereinigt sich wieder
- Typ IV: 2 separate Kanäle
- Typ V: 1 Kanal teilt sich kurz vor Apex in zwei Kanäle

- Typ VI: 2 Kanäle fusionieren im Zentrum der Wurzel und teilen sich kurz vorm Apex wieder
- Typ VII: 1 Kanal, der sich aufzweigt, vereinigt und wieder teilt
- Typ VIII: 3 separate Kanäle

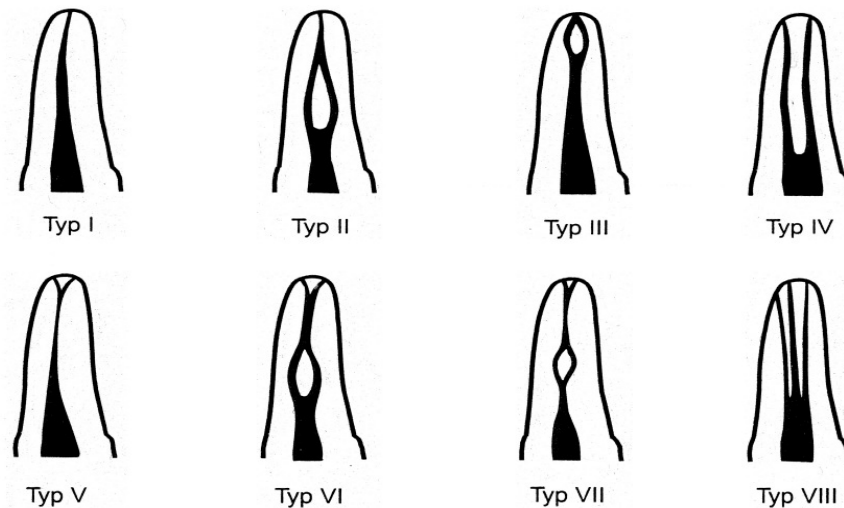
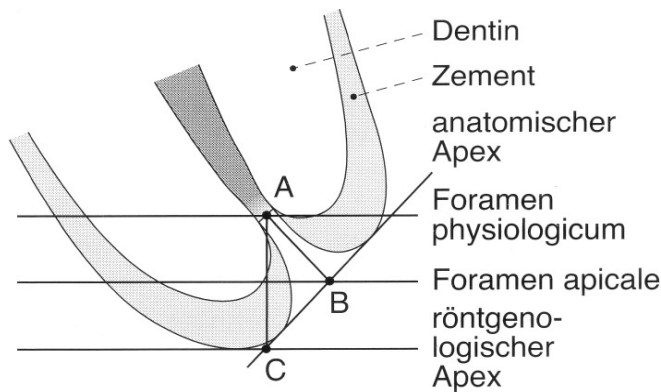


Abb.1: Klassifikation der Wurzelkanalkonfigurationen - Modifikation nach Vertucci 1984 (Klimm 2003)

Am Ende des Wurzelkanals bildet das Foramen apicale die natürliche Verbindung zwischen Pulpahöhle und periapikalem Gewebe. Dabei kann der Wurzelkanal im apikalen Bereich zahlreiche Ramifikationen aufweisen, die das sogenannte apikale Delta bilden (Hellwig et al. 1999). Der Hauptkanal verengt sich zur Wurzelspitze hin. Diese engste Stelle mit einem Durchmesser von 0,15-0,25 mm in 90 bis 95% der Fälle (Brendel 2001) bildet den physiologischen Apex (Foramen physiologicum). Hier soll die endodontische Aufbereitung am sogenannten apikalen Stop enden. Die Öffnung des Kanals zum Periodont liegt 0,5-1 mm weiter apikal am Foramen apicale (Abou-Rass et al. 1980; Chong und Ford 1996; Schulz-Bongert 1997; Steffen und Löw 1999). Aufgrund des häufig gekrümmten Verlaufs der Wurzelkanäle (Ketterl et al. 1987; Cunningham und Senia 1992; Schäfer et al. 1994a; Willershausen et al. 2005) unterscheidet man noch den röntgenologischen Apex (siehe Abb. 2), der sich im Röntgenbild als Wurzelspitze darstellt (Hellwig et al. 1999; Schäfer et al. 2000).

**Abb.2:**

Anatomie und Topographie der Wurzelspitze

\overline{AB} = Distanz For. physiologicum - For. apicale

\overline{AC} = Distanz For. physiologicum - röntgenologischer Apex

(Hellwig et al. 1999)

4.1.2 Wurzelkanalkrümmung

Wie oben bereits erwähnt, verlaufen die meisten Wurzelkanäle nicht gerade, sondern weisen eine oder sogar mehrere Krümmungen auf (Nagy et al. 1995; Willershausen et al. 2005). So haben Untersuchungen ergeben, dass bei 85% aller Wurzelkanäle Krümmungen vorkommen. Dabei besitzen z.B. Unterkiefermolaren generell einen gekrümmten Verlauf (Cunnigham und Senia 1992), meistens (60% der Fälle) zwischen 20° und 29° in der mesialen Wurzel (Schäfer et al. 1994a) und Oberkieferprämolaren immer mindestens eine Wurzelkanalkrümmung, in 20-25% der Fälle sogar zwei (Willershausen et al. 2005).

Erste Versuche einer Einteilung der Kanalkrümmungen basieren lediglich auf einer verbalen Beschreibung des Verlaufs, so z.B. bei *Pucci und Reig* (1944), *Ingle und Taintor* (1985) und *Zidell* (1985). Eine erste Klassifikation, basierend auf mathematischen Analysen, stammt von *Schneider* (1971). Ausgehend vom Winkel zwischen einer Linie durch die Kanalachse und einer zweiten durch das apikale Foramen teilt dieser die Kanäle nach dem Grad ihrer Wurzelkrümmung ein:

- I. gerade (5° und weniger)
- II. mittelmäßig gekrümmt (10°-20°)
- III. stark gekrümmt (25°-70°).

Auch *Backmann et al.* (1992) und *Nagy et al.* (1995) beschrieben die Wurzelkanäle aufgrund von mathematischen Berechnungen. Dabei kommen *Nagy et al.* zu folgender Einteilung und Häufigkeit:

- I – Form (28%) - gerader Kanalverlauf
- J – Form (23%) - Wurzelkanalkrümmung im apikalen Bereich
- C – Form (33%) - eine Krümmung über gesamten Kanalverlauf
- S – Form (16%) - mehrere Wurzelkanalkrümmungen.

4.1.3 Zugangskavität

Zur Darstellung der Wurzelkanaleingänge muß der Zahn trepaniert werden. Dabei werden folgende Forderungen an die Kavität gestellt:

- der Zahn muß frei von Karies sein, um eine Wiederbesiedlung mit Bakterien zu verhindern (Peters 1992; Griesinger et al. 1993)
- die Zugangskavität spiegelt in etwa den Umriss des Pulpakammerdaches wider (Peters 1992)
- ausreichende Extension der Kavität, so dass der Zugang zum Kanalsystem möglichst geradlinig ist und Instrumente mühelos und spannungsfrei eingeführt werden können (Peters 1992; Griesinger et al. 1993; Consensus report 1993; Eggert et al. 1998; Schade 2000)
- das Dach der Pulpakammer sowie Dentinüberhänge und der Inhalt der Pulpakammer müssen vollständig entfernt werden (Peters 1992; Griesinger et al. 1993; Consensus report 1993)
- unterminierte, frakturgefährdete Bereiche müssen abgetragen und fehlende Kavitätenwände zur Kofferdamapplikation wiederhergestellt werden (Peters 1992; Griesinger et al. 1993; Consensus report 1993).

Gestalt der Umrissform und die Lage der Kanäle zeigen die Abbildungen 3 und 4 auf der folgenden Seite.

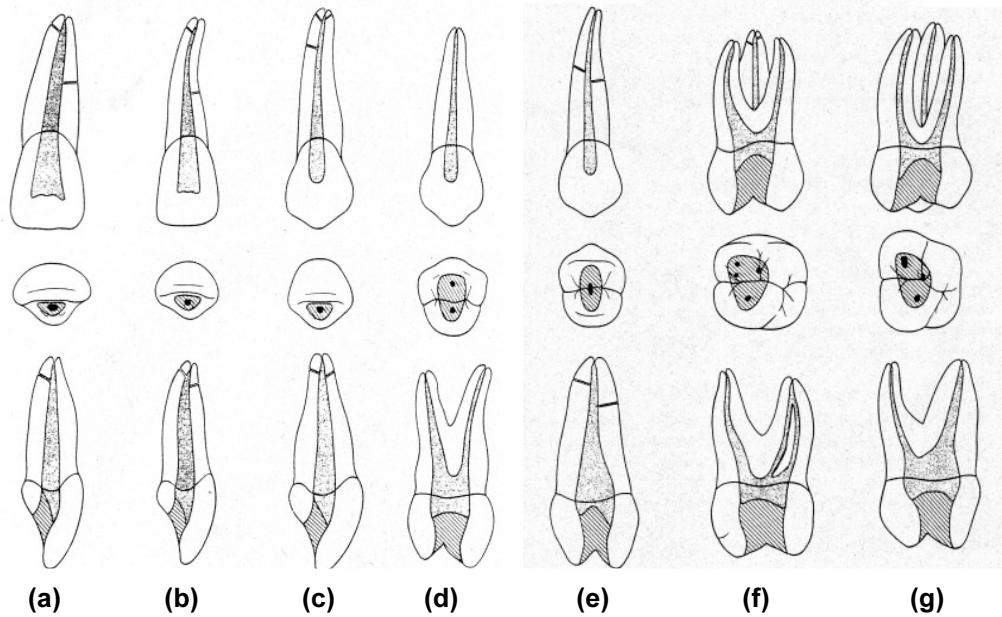


Abb.3: Gestalt der Umrissform und Lage der Kanäle; (a) – mittlerer oberer Schneidezahn; (b) – seitlicher oberer Schneidezahn; (c) – oberer Eckzahn; (d) – erster oberer Prämolare; (e) – zweiter oberer Prämolare; (f) – erster oberer Molar; (g) – zweiter oberer Molar; *obere Reihe:* vestibuläre Ansicht; *mittlere Reihe:* Okklusalansicht; *untere Reihe:* mesiodistale Ansicht (Stock und Nehammer 1992)

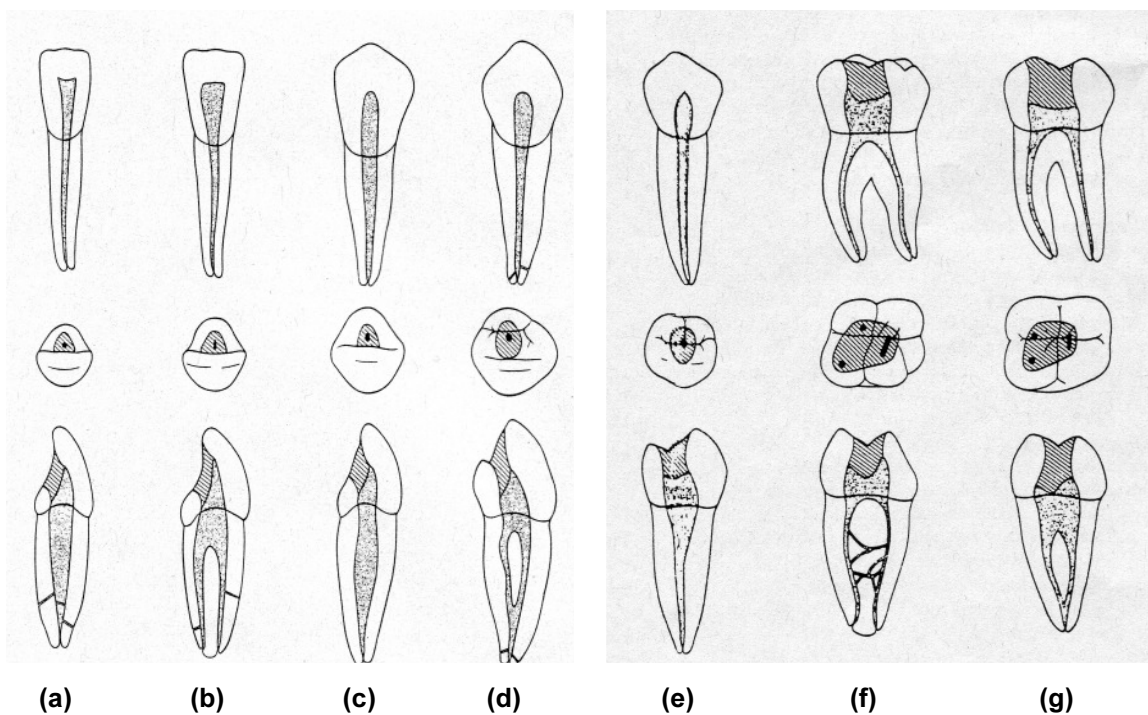


Abb.4: Gestalt der Umrissform und Lage der Kanäle; (a) – mittlerer unterer Schneidezahn; (b) – seitlicher unterer Schneidezahn; (c) – unterer Eckzahn; (d) – erster unterer Prämolare; (e) – zweiter unterer Prämolare; (f) – erster unterer Molar; (g) – zweiter unterer Molar; *obere Reihe:* vestibuläre Ansicht; *mittlere Reihe:* Okklusalansicht; *untere Reihe:* mesiodistale Ansicht (Stock und Nehammer 1992)

4.2 Grundlagen der Endodontie

4.2.1 Indikation und Kontraindikation der Wurzelkanalbehandlung

Eine Wurzelkanalbehandlung ist angezeigt, wenn die Pulpa irreversibel geschädigt oder bereits nekrotisch ist und/oder das periradikuläre Gewebe radiologisch eine Beteiligung zeigt. Darüber hinaus müssen bei geplanten Wurzelspitzenresektionen und Hemisektionen die Zähne im Vorfeld endodontisch behandelt werden.

Als Kontraindikation gilt, wenn der entsprechende Zahn funktionell nicht wiederhergestellt werden kann oder das Parodont aufgrund fortgeschrittener Destruktion einen Zahnerhalt nicht zulässt (Consensus report 1993; Stellungnahme DGZMK & DGZ 2001).

4.2.2 Ziele der Wurzelkanalbehandlung und Forderungen an die Aufbereitung

Der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung ist von folgenden Faktoren abhängig:

- vollständige Entfernung von vitalem und nekrotischem Pulpengewebe (Caselitz und Koçkapan 1990; Consensus report 1993; Schäfer 1995b; Martin und Blašković-Šubat 1997; Herrmann 1998; Hülsmann und Schade 2000; Stellungnahme DGZMK & DGZ 2001; Frentzen et al. 2005)
- Eliminierung von Bakterien, ihrer Stoffwechselprodukte und des infizierten Wurzelkanalwanddentins sowie Desinfektion des Kanals (Caselitz und Koçkapan 1990; Briseño 1992; Consensus report 1993; Glosson et al. 1995; Luiten et al. 1995; Schäfer 1995b; Peters et al. 1997; Schulz- Bongert 1997; Martin und Blašković-Šubat 1997; Herrmann 1998; Hülsmann und Schade 2000; Stellungnahme DGZMK & DGZ 2001; Frentzen et al. 2005)
- Aufbereitung und Formgebung des Wurzelkanals, so dass eine dichte, wandständige Obturation möglich ist (Backman et al. 1992; Consensus report 1993; Luiten et al. 1995; Peters et al. 1997; Herrmann 1998; Kaup und Ott 1998; Hülsmann und Schade 2000; Gerbert und Hülsmann 2004; Frentzen et al. 2005).

Die Wurzelkanalaufbereitung spielt eine entscheidende Rolle, da sie die Grundlage für die Applikation von Spülflüssigkeiten im Kanal zur Desinfektion und für den hermetischen Verschluss bildet (Frentzen et al. 2005). Um dies gewährleisten zu können, müssen folgende Kriterien bei der Wurzelkanalaufbereitung umgesetzt werden:

- der ursprüngliche Kanalverlauf sollte beibehalten werden und der aufbereitete Kanal den ursprünglichen vollständig umschließen (Briseño 1992; Backman et al. 1992; Consensus report 1993; Schäfer 1994, 1995b; Luiten et al. 1995; Kaup und Ott 1998; Stellungnahme DGZMK & DGZ 2001; Gerbert und Hülsmann 2004)
- die apikale Konstriktion sollte nicht verlagert und nicht erweitert werden (Briseño 1992; Consensus report 1993; Schäfer 1995b; Hülsmann und Schade 2000; Stellungnahme DGZMK & DGZ 2001)
- der präparierte Kanal sollte von koronal nach apikal gleichmäßig konisch verlaufen mit einem definierten Stop in Höhe der apikalen Konstriktion (Briseño 1992; Consensus report 1993; Schäfer 1994, 1995b; Schulz-Bongert 1997; Hülsmann und Schade 2000; Stellungnahme DGZMK & DGZ 2001; Gerbert und Hülsmann 2004)
- Stufenbildung, Verblockung und irreguläre Apikalpräparationen sollten vermieden werden (Backman et al. 1992; Hülsmann und Schade 2000)
- keine Schwächung des Kanalwanddentins, welche die Erhaltbarkeit der Wurzel in Frage stellen würde (Luiten et al. 1995; Schäfer 1995b; Schulz-Bongert 1997; Hülsmann und Schade 2000).

Werden die vorgenannten Punkte optimal umgesetzt, so liegen die Erfolgsraten der Wurzelkanalbehandlung - abhängig vom Ausgangsbefund - bei 75 – 80% und mehr (Löst 1995; Löst et al. 1995; Schäfer 1995b).

4.2.3 Der gekrümmte Wurzelkanal – Probleme bei der Aufbereitung

Bei geraden Kanälen ist es in aller Regel kein Problem, den Anforderungen zu genügen. Schwierigkeiten hingegen macht das Aufbereiten gekrümmter Kanäle.

Diese sind darauf zurückzuführen, dass Kanalachse und Kraftvektorenachse des Aufbereitungsinstruments nicht deckungsgleich sind und dieses infolge der Kanalkrümmung eine Biegekraft erfährt (Abb. 5). Nach dem physikalischen Grundgesetz von *Newton*, $\text{Actio} = \text{Reactio}$, treten dadurch Kräfte auf, die unkompensiert vor allem im mittleren und apikalen Kanalabschnitt zu unerwünschten Formveränderungen des Originalkanals führen (Roane et al. 1985; Herrmann 1998, 1999).

Im apikalen Bereich des Wurzelkanals ist eine Verschiebung der Kanalachse zur konvexen Seite hin und damit eine Begradigung meist nicht vermeidbar (Briseño 1992; Glosson et al. 1995; Lindner et al. 1995; Luiten et al. 1995; Herrmann 1999; Büning und Ioannou 1999), häufig verbunden mit dem Auftreten des „Zipping“ (Bereich des übermäßigen Materialabtrags an der Außenkurvatur, im Querschnitt tropfenförmig), Erweiterung der apikalen Konstriktion, „Elbow“ (sanduhrartige Präparation), „Ledge“ (Stufe im apikalen Bereich an der Außenkurvatur, Aufbereitung kann nicht mehr bis zur Arbeitslänge erfolgen) oder Überinstrumentation (Durchstoßen der apikalen Konstriktion). Darüber hinaus kann es im mittleren Kanalabschnitt zu Aufbereitungsfehlern wie „Stripping“ (laterale Öffnung entlang der Innenkurvatur als Folge übermäßiger Entfernung von Zahnhartsubstanz mit Verbindung zum Desmodont) und Stufenbildung (an der Außenkurvatur gelegen) kommen. Infolge falsch gerichteter Aufbereitung des Kanals kann eine „Via falsa“ (auch „Fausse route“) bis hin zur Perforation der Kanalwand entstehen (Abou- Rass et al. 1980; Backman et al. 1992; Griesinger et al. 1993; Lindner et al. 1995; Winkler 1996; Campbell et al. 1998; Thompson und Dummer 1998; Herrmann 1998, 1999; Lam et al. 1999; Büning und Ioannou 1999; Schäfer et al. 2000; Gençoğlu und Garip 2000; Gressmann und Hülsmann 2001; Brendel 2001).

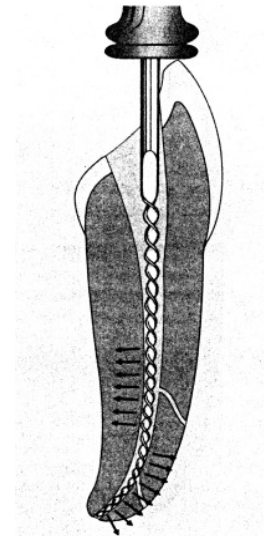
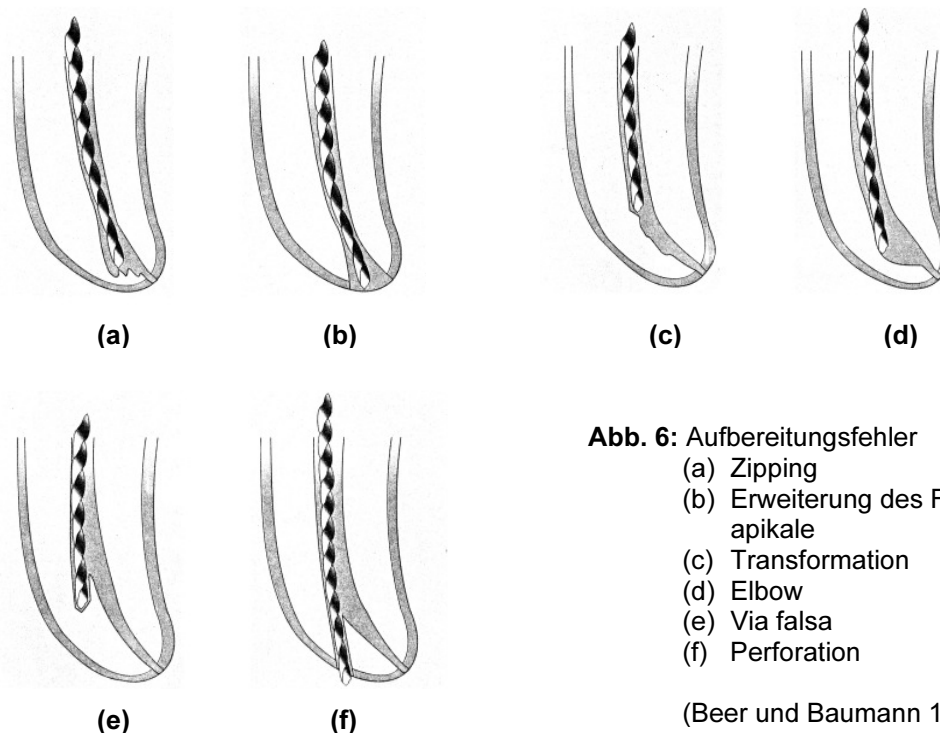


Abb.5: Kraftentfaltung einer gekrümmten Feile (Winkler 1996)

Typische Aufbereitungsfehler zeigen die folgenden Abbildungen.



Diese Fehler bei der Wurzelkanalaufbereitung, die auf die Tendenz der Aufbereitungsinstrumente, sich zu begradigen, zurückzuführen sind, gilt es zu minimieren. Zum einen sollten die Feilen vorgebogen und eine forcierte Aufbereitung an der Innenkurvatur vermieden werden. Auch abgerundete, nichtschneidende Instrumentenspitzen und flexible Materialien sollen dazu beitragen, der Anforderung eines konisch präparierten Kanals mit zirkulär gleichmäßigem Materialabtrag gerecht zu werden.

4.3 Aufbereitungsinstrumente und -methoden

4.3.1 Werkstoffkunde und Eigenschaften der Instrumente

Herkömmliche Wurzelkanalinstrumente bestehen aus säurebeständigen Chrom-Nickel-Edelstählen (Schäfer 1995b; Stellungnahme DGZMK & DGZ 2001), weisen aber eine geringe Flexibilität infolge einer Deformation des gesamten kristallographischen Gefüges proportional der einwirkenden Kraft (Frentzen et al. 2005) und somit ein hohes Biegemoment (Rückstellkraft des an der Spitze eingespannten und um 45° gebogenen Aufbereitungsinstruments) auf (Büning und Ioannou 1999; Schäfer et al. 2000; Gressmann und Hülsmann 2001; Frentzen et

al. 2005). Deshalb kommt es trotz vorgebogener Instrumente häufig zu unerwünschten Formveränderungen, die den Erfolg der Aufbereitung in Frage stellen.

Mit zunehmender industrieller Bedeutung des Metalls Titan ab dem Jahr 1950 und der Entwicklung einer neuartigen Legierung aus Nickel und Titan 1963 im *Naval Ordnance Laboratory* (Silver Spring, USA) unter dem Akronym „NiTiNOL“ (Schäfer 1998a; Lam et al. 1999) hielt der Werkstoff ab Mitte der 70er Jahre Einzug in die Zahnmedizin (Schäfer 1998a). Aufgrund ihres pseudoelastischen Verhaltens, d.h. Umwandlung von der Austenit- in die Martensit-Phase und zurück, beträgt der Elastizitätsmodul der Nitinollegierung lediglich ein Fünftel des entsprechenden Wertes für Chrom-Nickel-Stahl. Die daraus resultierende hohe Flexibilität und der sogenannte „Memory-Effekt“ erklären den Einsatz der Legierung als Aufbereitungsinstrumente für gekrümmte Kanäle (Buehler und Wang 1968; Glosson et al. 1995; Martin und Blašković-Šubat 1997; Schäfer 1998a; Lam et al. 1999; Büning und Ioannou 1999; Gressmann und Hülsmann 2001) als Alternative zu den Edelmetallinstrumenten.

Die gebräuchlichen Legierungen enthalten stets die Elemente Nickel, Titan, Eisen und Kobalt, wobei zwischen 55-Nitinol (55 m% Nickel, 45 m% Titan), 60-Nitinol (60 m% Nickel, 40 m% Titan) und einer Titan-Aluminium-Legierung (bis 17 m% Aluminiumanteil) unterschieden werden muß (Schäfer 1998a; Stellungnahme DGZMK & DGZ 2000; Gressmann und Hülsmann 2001). Die Herstellung der Nickel-Titan-Instrumente erfolgt ausschließlich durch Fräsung, während Edelmetallinstrumente sowohl gefräst als auch verdrillt werden können (Schäfer 1995c; Gressmann und Hülsmann 2001).

Zahlreiche Autoren haben Untersuchungen zu Eigenschaften und Praxistauglichkeit der Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan durchgeführt und diese mit Instrumenten aus Edelmetall verglichen. U.a. beschreibt Schäfer (1995a, 1998a+b) eine Abhängigkeit der Schneidleistung von Oberflächengüte, Instrumentenquerschnitt, Schneidekantenwinkel, Anzahl der Schnitten pro Arbeitsteil und Legierungsart. Auch Sonntag (2003) und Frentzen et al. (2005) stellen die Schneideeffizienz in Zusammenhang mit der Oberflächenbeschaffenheit und dem Instrumentenquerschnitt. So weisen Instrumente aus Nickel-Titan eine deutlich geringere Schneidleistung aufgrund von

herstellungsbedingten Unregelmäßigkeiten und Defekten im Sinne von Metallausbrüchen auf (Schäfer 1995a, 1998a+b; Frentzen et al. 2005). Infolgedessen haben diese Instrumente auch eine kürzere Standzeit als solche aus Edelstahl und weisen nach Gebrauch deutliche Korrosionsspuren auf (Schäfer 1998a+c). Ebenfalls abhängig von der Legierungsart ist die Härte der Instrumente. Mit einer *Vickers*-Härte von durchschnittlich 303 HV bis 362 HV für Nickel-Titan-Instrumente liegt diese deutlich unter der von Edelstahl mit 522 HV bis 542 HV und bedingt folglich eine geringere Effizienz (Schäfer 1998a). In keinem Zusammenhang mit der Art der Legierung stehen Instrumentenquerschnitt und Konizität, die aber auch unmittelbaren Einfluss auf den Materialabtrag haben. So vergrößert eine höhere Konizität die Schneidleistung (Büning und Ioannou 1999; Frentzen et al. 2005). Die Aufbereitung ist ebenfalls effektiver, je positiver der Schneidenwinkel (s. 4.3.2) im Querschnitt ist (Schäfer 1995a; Sonntag 2003; Frentzen et al. 2005).





Die Flexibilität der Instrumente und damit die Anpassung an den Kanalverlauf werden beeinflusst durch Instrumentengröße, Querschnitt, Maßtreue, Herstellungsverfahren und Legierungstyp, d.h. Instrumente kleiner Größen, Querschnittsformen mit geringerem Kerndurchmesser und gleichzeitig großen Spanräumen, gefräste Feilen und Nickel-Titan-Legierung zeigen eine höhere Flexibilität (Städtler und Jeglitsch 1993; Szep et al. 1995; Schäfer 1995a+c, 1998a+b).

4.3.2 Normung

Bereits 1958 wurden die Instrumente zur Wurzelkanalaufbereitung standardisiert (Briseño 1996; Herrmann 1999) und sind heute im ISO-Standard 3630 (International Organization for Standardization) definiert. Darin sind Formen, Profile, Längen, Stärken, fertigungsbedingte Toleranzen, mechanische Belastbarkeit, Farbencodes zur Stärkenkennzeichnung und Symbole für die Standard-Instrumente genau festgelegt (Krammer und Schlepper 1990; Städtler und Jeglitsch 1993; Schäfer 1998b).

Dabei entspricht die ISO-Größe dem Durchmesser an der Instrumentenspitze in Hundertstelmmillimeter (ISO 20 = 0,20 mm), wobei eine Toleranz von $\pm 0,02$ mm zulässig ist. Die Länge des Arbeitsteils beträgt dabei 16 mm ($\pm 0,5$ mm) mit einer

Zunahme des Durchmessers pro Millimeter Wegstrecke um + 0,020 mm von der Instrumentenspitze in Richtung Handgriff. Das entspricht einer Konizität von 2% (Krammer und Schlepper 1990; Städtler und Jeglitsch 1993; Brendel 2001). Der Abstand der Schneiden nimmt zur Spitze hin ab, der Neigungswinkel zu (Sonntag 2003). Den genormten Wurzelkanalinstrumenten wurden Symbole zugeordnet, die der Tabelle 2 entnommen werden können.

<u>Instrumentenart</u>	<u>ISO-Symbol</u>
K-Bohrer	
K-Feile	
Flexicut-Feile	F
Hedström-Feile	
Rattenschwanzfeile	

Tab. 2: ISO-Symbole genormter Wurzelkanalinstrumente (Krammer und Schlepper 1990)

Neben den ISO-konformen Instrumenten gibt es eine Vielzahl neuartiger Feilen, die sich in ihrem Aufbau und Design teilweise erheblich von den bisherigen, konventionellen Instrumenten unterscheiden (Briseño 1996; Herrmann 1999). So weisen neue Wurzelkanalinstrumente Konizitäten zwischen 2% und 19%, innerhalb des Instruments ansteigende Konizitäten, verkürzte Arbeitsteile und verschiedenste Querschnitte auf, die die Effektivität bei gleichzeitiger Erhöhung der Arbeitssicherheit verbessern sollen (Schäfer 1995c; Herrmann 1999; Brendel 2001).

Eigenschaften und Funktionsweise der Instrumente werden dabei von folgenden Parametern beeinflusst:

- *Schneidekantenwinkel:* Winkel, den die Schneidekante mit der Längsachse des Instruments bildet; je höher die Anzahl der Schneiden bei definierter Länge, desto größer ist dieser Winkel; Maß für Effizienz

- **Spanraum:** Maß für Abtragsleistung und Fähigkeit, abgetragenes Material aus dem Kanal herauszutransportieren; der Spanraum ist umso kleiner, je größer der *Kerndurchmesser* des Instruments ist, desto geringer ist die Flexibilität und umso höher die Bruchfestigkeit.

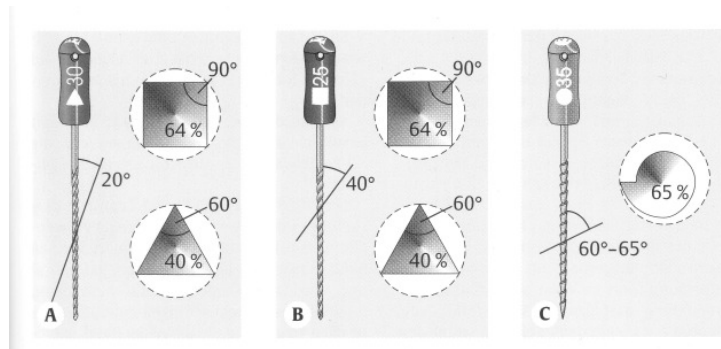


Abb. 7: schematische Darstellung von Schneidekantenwinkel, Querschnitt, Spanraum und Keilwinkel

(A) **Vierkant**
(B) **Dreikant**
(C) **H-Feile**

(Beer et al. 2004)

- **Schneidenwinkel:** wird durch die Schneiden der Feile, ihre Form und Stellung zur Kanalwand gebildet; bei allen Feilen hat die Schneide die Form eines Keils => Schneidkeil; je positiver Schneidenwinkel, desto höher Effizienz, desto größer Gefahr einer Verschraubung
- **Schnittwinkel:** bildet sich zwischen der Oberfläche, die bearbeitet wird und der Vorderfläche des Schneidkeils; ergibt zusammen mit *Spanwinkel* immer 90°
- **Spanwinkel:** Winkel zwischen Vorderfläche des Schneidkeils und dem 90°-Winkel zur bearbeiteten Kanaloberfläche; je negativer Spanwinkel, umso höher die Schnittkräfte
- **Keilwinkel:** Winkel der Werkzeugschneide; eine Schneide mit kleinem Keilwinkel ist scharf, bricht aber leicht ab
- **Freiwinkel:** Winkel zwischen Fase der Schneide und Wurzelkanaloberfläche.

Span-, Frei- und Keilwinkel werden als *Wirkwinkel* bezeichnet und ergeben zusammen immer 90°. So betragen z.B. die Werte für die *FlexMaster*®-Feilen: Spanwinkel -55°, Freiwinkel 39°, Keilwinkel 106° (Schäfer 1995b; Sonntag 2003; Frentzen et al. 2005).

4.3.3 Aufbereitungstechniken

In Abhängigkeit von den verwendeten Instrumenten und ihrer Arbeitsweise (Beschreibung s. 4.3.4) finden verschiedenste Techniken zur Aufbereitung der Wurzelkanäle Anwendung, immer mit dem Ziel, die Kanäle gleichmäßig aufzubereiten und den originären Kanalverlauf beizubehalten. Folgende Methoden basieren dabei auf einer vorwiegend drehend-schabenden Feilenbenutzung:

- Step Back („Flaring“)
- Balanced Force
- Step Down („Reverse flaring“)
- Crown-Down-Pressureless
- modifizierte Double-Flared-Technik
- Technik nach *Wildev & Senia*
- „*Schilder*“- Technik.

Andere Konzepte stützen sich auf eine feilende Arbeitsweise der Instrumente:

- Anticurvature-Filing
- Double-Flared
- Korono-apikale Technik.

(Ruddle 1994; Schäfer 1994)

Außerdem können die Methoden danach unterschieden werden, ob von apikal nach koronal oder umgekehrt aufbereitet wird (Hellwig et al. 1999).

Step-Back-Technik (Clem 1969)

Mit einem Reamer oder einer flexiblen Feile (bei gekrümmten Kanälen) der ISO-Größe 10 wird die Gängigkeit bis zum Foramen physiologicum erfasst (initiale apikale Feile) und anschließend auf dieser gesamten Arbeitslänge bis zur ISO-Größe 25 oder 30 erweitert. Zur Präparation des konischen Endabschnitts im apikalen Bereich werden die Arbeitslängen der folgenden 3 – 4 Feilenstärken um jeweils etwa 0,5 - 1 mm verkürzt. Bei dieser Methode sollte das Instrument unter Rotation eindringen, eine Umdrehung von 110° unter Wandkontakt durchführen und unter Rotation

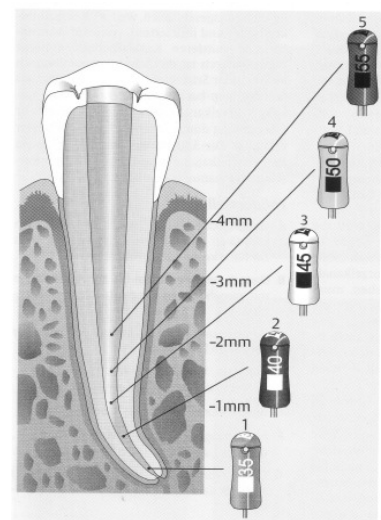


Abb. 8: Verkürzung der Arbeitslänge um jeweils 1 mm bei der Step-Back-Technik (Beer et al. 2004)

wieder herausgeführt werden. Zur Verbesserung der Aufbereitungsqualität und zum Vermeiden einer Verblockung muß mit der vorangegangenen Feile häufig rekapituliert werden (Mullaney 1979; Schäfer 1994; Luiten et al. 1995; Beer und Baumann 1997; Hellwig et al. 1999; Schäfer et al. 2000; Beer et al. 2004).

Balanced-force-Technik (Roane et al. 1985)

Die bei dieser Methode modifizierte drehende Bewegungsform setzt die Verwendung von Instrumenten mit abgerundeter, nichtschneidender Spitze („Batt“-Spitze) voraus. Dabei wird die Feile ohne Krafteinwirkung unter einer Vierteldrehung im Uhrzeigersinn in den Kanal auf volle Arbeitslänge eingeführt. Es folgt eine Dreivierteldrehung entgegen dem Uhrzeigersinn, die dem mechanischen Materialabtrag dient. Abschließend werden die Dentinspäne durch eine halbe Rechtsdrehung des Instruments aus dem Kanal heraus befördert. Dentinverblockungen werden auch hier durch Rekapitulationen vermieden. Bei Beherrschung der Technik können auch stark gekrümmte Kanäle ohne Veränderung des Kanalverlaufs bis ISO 40 aufbereitet werden (Roane et al. 1985; Winkler 1996; Beer und Baumann 1997; Hellwig et al. 1999; Schäfer et al. 2000; Beer et al. 2004).

Step-Down-Präparation (Goerig et al. 1982)

Mit Feilen der Größen 15 bis 25 in aufsteigender Folge wird bis zum Anfang der Wurzelkanalkrümmung erweitert. Es folgt die konische Erweiterung des koronalen Kanalabschnitts mit *Gates*-Bohrern der Größen 1 – 3, ebenfalls in aufsteigender Reihenfolge und abnehmender Eindringtiefe. Dadurch ist ein leichter Zugang zum apikalen Kanalabschnitt gegeben, der nach Festlegung der Aufbereitungstiefe im Sinne der Step-Back-Technik aufbereitet wird (Goerig et al. 1982; Voß 1998; Hellwig et al. 1999; Beer et al. 2004).

Crown-Down-Pressureless (Morgan und Montgomery 1984)

Beginnend mit einem Instrument ISO 35 wird der Kanal mit Feilen absteigender Größe aufbereitet, bis ein Instrument kleiner ISO-Größe (z.B. #10) die apikale Konstriktion erreicht. Nach dieser ersten Sequenz erfolgt die zweite, wieder von koronal beginnend, mit der nächstgrößeren Feile (#40), schließlich eine dritte usw., bis man apikal um 4 Größen erweitert hat (immer abhängig von der ersten

Feilengröße, die den Apex erreicht hat). Dabei sollen ohne apikalen Druck maximal zwei Rotationsbewegungen ausgeführt werden (Morgan und Montgomery 1984; Luiten et al. 1995; Hellwig et al. 1999; Beer et al. 2004).

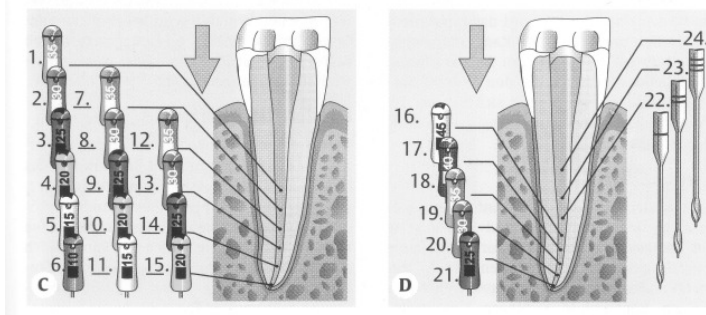


Abb. 9: Reihenfolge der Feilen bei der Crown-Down-Pressureless Technik (Beer et al. 2004)

Double-Flared-Technik (Fava et al. 1987)

Dieses von einer Arbeitsgruppe um *Weine* in den 70er Jahren begründete Konzept der Aufbereitung gliedert sich in 3 Arbeitsschritte:

1. „reverse flaring“ (Step-Down-Präparation) – nach Einführen der „Initial apical file“ der ISO-Größe 15 auf voller Arbeitslänge wird der Kanaleingang mit Feilen absteigender Größe, beginnend bei ISO 45 erweitert.
2. apikale Aufbereitung – beginnend mit der 15er-Feile wird auf der vollen Arbeitslänge mit den Zwischengrößen 20, 22, 25 und 27 bis ISO 30 aufsteigend aufbereitet.
3. „flaring“ (Step-Back-Präparation) – Aufbereitung des gesamten Kanals von ISO 35 – 50, wobei die Arbeitslänge um jeweils 1 mm verkürzt wird (Schulz-Bongert 1997; Hellwig et al. 1999; Beer et al. 2004).

Korono-apikale Technik (Griesinger et al. 1993)

Nachdem der angestrebte apikale Erweiterungsdurchmesser festgelegt wurde, wird der Wurzelkanal mit Hedströmfeilen aufsteigender ISO-Größe bis zur jeweiligen Widerstandsstelle nach koronal erweitert. Dadurch gelangen die Feilen der folgenden Sequenzen weiter nach apikal und es wird in immer gleicher Weise rekapituliert, bis die vorher festgelegte ISO-Größe den apikalen Referenzpunkt erreicht. Apikal gerichtete stoßend-drehende Bewegungen sind dabei zu vermeiden (Griesinger et al. 1993).

Bei der Aufbereitung gekrümmter und enger Kanäle kann in Verbindung mit jeder der genannten Aufbereitungsmethoden die **Anticurvatures-filing-Technik** angewandt werden. Dabei wird bei feilender Arbeitsweise das Instrument mehr in Richtung der Außenkrümmung des Wurzelkanals, der sogenannten „bulky“ oder „safety“ zone, gedrückt und so an der Innenkrümmung bewusst weniger Material abgetragen. Es verringert sich dadurch die Gefahr eines Stripping erheblich (Abou-Rass et al. 1980; Voß 1998; Schäfer et al. 2000).

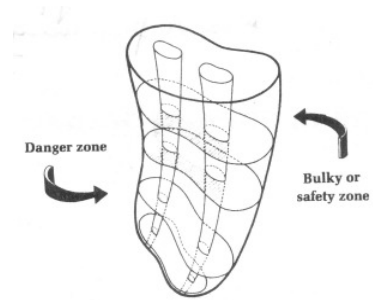


Abb. 10: Darstellung der „danger“ (Innenkrümmung) und „safety“ zone (Außenkrümmung) (Abou-Rass et al. 1980)

4.3.4 Aufbereitungsinstrumente

4.3.4.1 Manuelle Aufbereitung

Alle Wurzelkanalinstrumente gehen auf drei Grundformen zurück – K-Feilen, Reamer und Hedströmfeilen.

K-Feilen, das K steht für den Hersteller *Kerr*, der diese Instrumente entwickelte und erstmals produzierte, werden durch maschinelles Verdrillen aus einem Drei- oder Vierkantstahl (je nach ISO-Größe und Hersteller) gefertigt. Sie besitzen 1½ bis 2½ Verwindungen pro Millimeter Arbeitsteil und ihr Schneidekantenwinkel liegt zwischen 25° und 40°, das bedeutet, dass ihre höchste Effizienz bei einer drehend-schabenden Arbeitsweise liegt. Während ein Vierkant stabiler und starrer ist und nur einen kleinen Spanraum aufweist (36%), ist der Dreikant flexibler, aber auch bruchanfälliger (Schäfer 1995b; Beer und Baumann 1997; Kaup und Ott 1998; Schäfer et al. 2000; Beer et al. 2004).

Auch **Reamer** weisen einen drei- oder viereckigen Querschnitt auf und werden durch Verdrillen hergestellt. Anders als die K-Feilen weisen sie nur ½ bis 1 Verwindung pro Millimeter des Arbeitsteils auf. Ihr Schneidekantenwinkel beträgt 10° bis 30° und sie sind somit auch für den drehend-schabenden Einsatz konzipiert (Schäfer 1995b; Beer und Baumann 1997; Schäfer 1998b; Hellwig et al. 1999; Schäfer et al. 2000). Verschiedene Autoren beschreiben Unterschiede im Materialabtrag zwischen K-Feilen und Reamern – so schneiden Reamer durch eine langsame Rotation in apikaler Richtung, wohingegen bei K-Feilen der

eigentliche Materialabtrag beim Herausziehen aus dem Kanal stattfindet (Schäfer 1995b).

Hedströmfeilen werden aus einem konischen Rundstahlprofil herausgefräst, wobei die Anzahl der Schneidekanten zur Instrumentenspitze hin zunimmt, die Abstände und Tiefe der Schneidekanten gleichzeitig abnehmen. Mit einem Schneidekantenwinkel von 60° bis 65° werden Hedströmfeilen linear feilend eingesetzt und arbeiten auf Zugbewegungen (Schäfer 1995b; Kaup und Ott 1998; Schäfer 1998b; Hellwig et al. 1999; Schäfer et al. 2000).

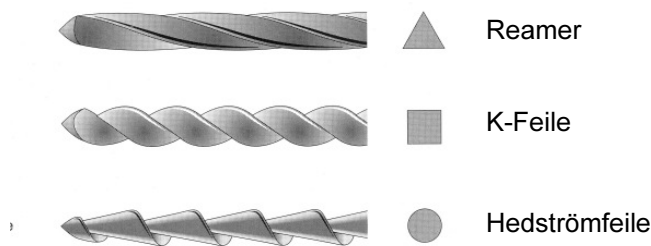


Abb. 11:

Grundformen der Handinstrumente zur Wurzelkanalaufbereitung. Die Instrumente sind auf dem Kopf des Handgriffs mit Symbolen gekennzeichnet. (Hellwig et al. 1999)

Verwandt mit den Hedströmfeilen sind **S-Feilen** [*S-Files* (Sendoline)] und **U-Feilen** [*Unifiles* (Caulk)], die ebenfalls aus einem Rundstahlprofil herausgefräst werden, aber einen sigmoiden Querschnitt besitzen. **Helifiles** sind als mehrkantige Hedströmfeilen anzusehen (Schäfer 1995b).

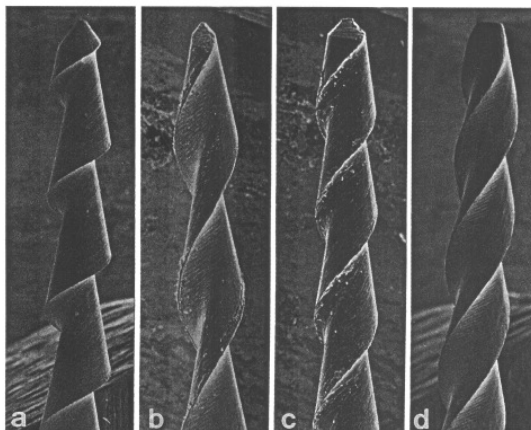


Abb. 12:

Rasterelektronenmikroskopische Darstellung verschiedener Typen von Hedströmfeilen aus Edelstahl der ISO-Größe 35.

- (a) Hedström-Feile
- (b) U-Feile
- (c) S-Feile
- (d) Helifeile

(Schäfer 1995b)

Mit dem Bestreben, auch stark gekrümmte Kanäle ohne unerwünschte Kanalveränderungen aufzubereiten, wurden verschiedene neue Instrumente entwickelt.

- **Flexible Instrumente aus Edelstahl**

Flexicut (VDW, München): Diese Feilen werden aus einer mehrfach im Hochvakuum verschmolzener SCS-Edelstahllegierung aus einem

Dreikant hergestellt. Der Schneidekantenwinkel beträgt zwischen 24° an der Instrumentenspitze und 45° am Ende des Arbeitsteils (Städtler und Jeglitsch 1993; Schäfer et al. 1994; Schäfer 1995b; Beer und Baumann 1997).

Flexoreamer (Maillefer, Schweiz) – siehe Kapitel „Material und Methoden“, Punkt 6.4.1 – ohne Batt-Spitze

K-Flexofile (Maillefer, Schweiz) – siehe Kapitel „Material und Methoden“, Punkt 6.4.1 – ohne Batt-Spitze

K-Flex-Feile (Kerr, Karlsruhe): K-Flex-Feilen bestehen aus V-4-Stahl und entstehen durch Verdrillung eines rhombischen Rohlings, wodurch abwechselnd hohe und niedrige Windungen entstehen. Der Schneidekantenwinkel liegt bei 25° an der Instrumentenspitze und 50° im Endbereich des Arbeitsteils (Städtler und Jeglitsch 1993; Schäfer 1995b; Beer und Baumann 1997; Hellwig et al. 1999).

Diese Instrumente weisen aufgrund ihrer Querschnittsformen geringere Kern-durchmesser und gleichzeitig größere Spanräume auf, was zu einer höheren Flexibilität und erhöhten Schneidleistung, aber auch zu einer geringeren Bruchfestigkeit im Vergleich zu herkömmlichen Instrumenten führt (Schäfer 1995b; Hellwig et al. 1999).

- **Flexible Instrumente mit modifizierter Spitze**

Da die scharfkantig zulaufende Instrumentenspitze sowie die scharfen Schneidekanten im Bereich der Instrumentenschulter für die unerwünschten Abweichungen vom originären Kanalverlauf verantwortlich gemacht werden, wurde die Spitzengeometrie verändert – die Instrumentenspitze ist kuppenartig geformt und nichtschneidend, die Instrumentenschulter abgeflacht worden. Diese sogenannte „Batt“-Spitze soll eine bessere zentrische Führung zeigen und unerwünschte Formveränderungen der Wurzelkanalgeometrie minimieren.

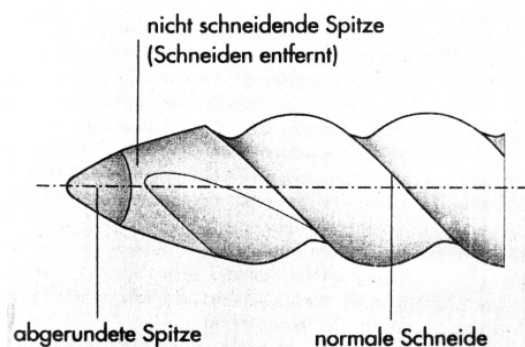


Abb. 13: „Batt“-Spitze
(Winkler 1996)

Die bereits oben beschriebenen *Flexoreamer* und die *K-Flexofiles* werden auch mit dieser modifizierten Spitze produziert. *Flex-R-Feilen* gehören ebenfalls in diese Gruppe, die Schneiden werden aber aus einem Rohling bei einem Schneidekantenwinkel von 30° bis 40° je nach Instrumentengröße herausgefräst (Schäfer et al. 1994b; Schäfer 1995c; Winkler 1996; Beer und Baumann 1997).

- **Instrumente aus Nickel-Titan-Legierungen**

Die in Punkt 4.3.1 dargestellten Eigenschaften der Nickel-Titan-Legierungen führten zur Herstellung von Instrumenten mit dem Ziel, gekrümmte Wurzelkanäle ohne unerwünschte Formveränderungen aufzubereiten, indem die höhere Flexibilität und der Memoryeffekt genutzt werden (Schäfer et al. 1994a; Schäfer 1995c). Die im folgenden aufgeführten Feilen stellen eine Übersicht der Instrumente dar, die sich u.a. auf dem Dentalmarkt befinden:

Mity-Feilen (JS Dental) – K- und H-Feilen

Maxiflex (Schwed) – K-Feilen

Naviflex (Brasseler USA) – K-Feilen

NiTi (NiTi Corp.) – K-Feile

Nitiflex (Maillefer) – K-Feilen

Onyx-R-Feile (Union Broach.) – K-Feilen

Ultra-Flex (Texceed Corp.) – K- und H-Feilen

Mac File (NiTi Corp.) – S-Feilen

Mity Turbo (JS Dental) – S-Feilen

Hyflex X-File (Hygenic Corp.) – X-Feilen. (Schäfer und Hoppe 1995;
Schäfer 1995c)

- **Instrumente aus Titan-Aluminium-Legierungen**

Microtitane (Micro Méga) – Reamer, K- und H-Feilen (Schäfer 1995c)

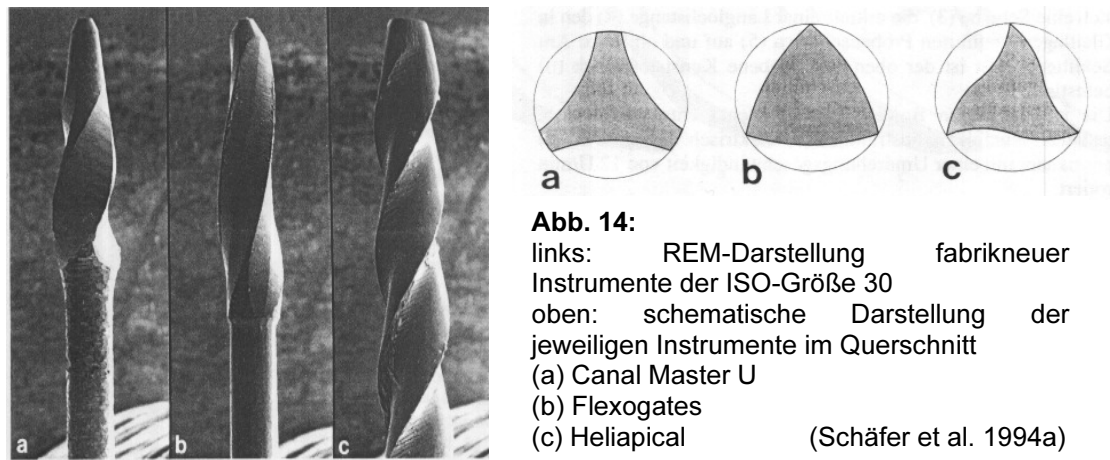
- **Instrumente mit verkürztem Arbeitsteil**

Canal Master U (Brasseler USA): Dieses Instrumentensystem ging aus einem von *Wildev* und *Senia* (1989) entwickelten Prototyp hervor und weist folgende Eigenheiten auf: **(1)** nichtschneidende, abgerundete Instrumentenspitze, **(2)** sehr kurze Arbeitsteile zwischen ca. 0,8 mm (ISO 20) und 1,8 mm (ISO 80), rechtsgehende Spirale und U-förmige Kehlung, **(3)** dünner, glatter Schaft und **(4)** Zwischengrößen von ISO 20 bis ISO 50.

Der Materialabtrag erfolgt durch Drehung im Uhrzeigersinn (Leseberg und Montgomery 1991; Suter 1994; Glosson et al. 1995; Schäfer 1996a; Martin und Blašković-Šubat 1997).

Flexogates (Maillefer): Ähnlich wie die Canal Master U-Instrumente besitzen diese Feilen eine nichtschneidende Spitze und ein 1 – 2 mm langes Arbeitsteil (Schäfer et al. 1994a; Schäfer 1996a)

Heliapical (Micro Mega): Im Unterschied zu den beiden vorherigen Instrumenten weisen die Heliapicals ein 5 mm langes Arbeitsteil auf (Schäfer et al. 1994a; Schäfer 1996a).



• Spezielle Instrumente

Farside (Maillefer): Diese Instrumente (entwickelt von *Pheulpin* und *Maolouf*) aus Edelstahl haben die Konstruktionsmerkmale eines Reamers und dienen zur Sondierung enger und obliterierter Wurzelkanäle.

Deepstar (Maillefer): Ebenfalls aus Edelstahl und ähnlich wie Reamer sind diese nicht ISO-genormten Instrumente speziell zur Revision von Wurzelkanalfüllungen konzipiert worden.

Sowohl *Farside* als auch *Deepstar* sind auf 15 bzw. 18 mm Länge reduziert worden.

Pathfinder (Kerr USA): In zwei Größen erhältliches Wurzelkanal-instrument mit geringen Konizitäten zum Aufsuchen enger und sklerosierter Kanäle, aus Kohlenstoffstahl hergestellt.

Safety Hedström (Kerr USA): Diese Feilen wurden von *Buchanan* entwickelt. Die Schneiden sind auf einer Seite abgeflacht – sogenannte „Sicherheitskanten“ -, die in Richtung der nicht mehr zu bearbeitenden

Kanalwand ausgerichtet werden. Dadurch soll ein unerwünschter Materialabtrag vermieden werden (Schäfer 1996a; Schäfer et al. 2000). Inzwischen wurden diese Feilen wieder vom Markt genommen.

4.3.4.2 Maschinelle Aufbereitung

Mit dem Ziel, die oft mühsame und zeitaufwendige Handaufbereitung zu erleichtern, ging die Entwicklung hin zu maschinellen Antrieben und dafür geeigneten Feilensystemen.

Rollins erfand bereits 1899 das erste spezielle Endodontiewinkelstück, aber erst Ende der 50er Jahre des 20. Jahrhunderts begann mit der Einführung des *Racer*-Feilenkopfes 1958 durch *Binder* und der Entwicklung des *Giromatic*-Winkelstücks 1964 die Etablierung der maschinellen Aufbereitung in der Endodontie (Hellwig et al. 1999; Beer et al. 2004; Hülsmann 1996; Hülsmann et al. 1999).

Das *Racer*-System versetzt das eingespannte Instrument in Hubbewegungen mit einer Amplitude von 1 mm, wodurch es aber häufig zum Überpressen von infizierten Dentinspänen in die apikale Region kommt (Hülsmann 1996; Beer et al. 2004). Die *Giromatic* führt bei einer Drehzahl von 3000 min^{-1} eine reziproke Viertelkreisbewegung aus. Allerdings kam es meist zu deutlichen Abweichungen im Kanalverlauf und häufigen Instrumentenfrakturen (Caselitz und Koçkapan 1990; Esposito und Cunningham 1995; Hülsmann 1996; Beer et al. 2004).

Die weitere Entwicklung ging weg von Antrieben mit starrem Bewegungsablauf hin zu schwingenden und dreidimensionalen Systemen und Ultraschallgeräten in den 80er Jahren (Hülsmann 1996). Die folgenden Tabellen geben eine Übersicht über unterschiedliche maschinelle Systeme zur Kanalaufbereitung.

Tab. 3: Übersicht über maschinelle Systeme zur Wurzelkanalaufbereitung (Caselitz und Koçkapan 1990; Tepel 1998; Hülsmann et al. 1999; Gençoğlu und Garip 2000; Heidemann 2001; Stellungnahme DGZ & DGZMK 2005)

<u>Systeme zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung</u>	<u>Funktionsweise</u>
<u>Konventionelle Systeme</u>	
<i>Giromatic</i> (Micro Méga)	- mikromotorangetrieben, 3.000 UpM, reziproke Rotation (90°) - zu verwenden mit Giromatic-Reibahlen, Giro-Files, Heligiro-Files
<i>Endo-Gripper</i> (Moyoco)	- reziproke Rotation (90°)
<i>Endolift</i> (Kerr)	- mikromotorangetrieben, 4.000 UpM, Hubbewegung + reziproke Rotation (90°)
<i>M₄-Safety-Winkelstück</i> (Kerr)	- reziproke Rotation (30°), besonders geeignet für K-Flex und Safety Hedströmfeilen
<i>Endocursor</i> (W&H)	- Rotation (360°)
<i>Intra-Endo 3-LD</i> (KaVo)	- reziproke Rotation (90°), 3.000 UpM
<i>Alternator</i> (Fabrikat der ehemaligen DDR; Dentalfabrik Potsdam)	- reziproke Rotation (90°)
<i>Dynatrac</i> (Dentsply)	- reziproke Rotation (90°)
<u>Flexible Systeme</u>	
<i>Excalibur</i> (W&H)	- 20.000-25.000 UpM werden in laterale Schwingungen mit einer Frequenz von 500-1.000 Hz und einer Amplitude von 1,5 – 2 mm umgewandelt; spezielle Edelstahlfeilen - permanente Wasserspülung
<i>Endoplaner</i> (Microna)	- Schabbewegungen auf Zug und freie Rotation
<i>Canal-Finder</i> (S.E.T.)	- mikromotorangetrieben, Hubbewegung (0,3 – 1 mm) + freie Rotation, 4.000 UpM
<i>Canal-Leader</i> (S.E.T.)	- Hubbewegung (0,4 – 0,8 mm) + Rotation (20° - 30°), Feilfrequenz 3.000 min ⁻¹ ; Drehzahl 1:4 untersetzt, 5.000 UpM
<i>Intra-Endo 3-LDSY</i> (KaVo)	- Hubbewegung (0,4 mm) + freie Rotation bei axialer Belastung, Feilfrequenz 3.000 min ⁻¹
<i>IMD 9GX</i> (HiTech)	- 360°-Rotation mit variabler, torqueabhängiger Umdrehungszahl

<u>Systeme zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung</u>	<u>Funktionsweise</u>
ENDOfash (KaVo)	- siehe Kapitel „Material und Methoden“, Punkt 6.3.1
Tri Auto ZX (Morita)	- drehmomentbegrenzte Rotation (360°) - integriertes Endometriegerät, Auto-Apical-Reverse- und Auto-Torque-Reverse-Funktion
EndoStepper (S.E.T.)	- siehe Kapitel „Material und Methoden“, Punkt 6.2.1
<u>Schallvibrationssysteme</u>	
Sonic Air 3000 (Micro Méga)	- Schallvibration (3.000 Hz)
Endostar 5 (Medidenta)	- Schallvibration (6.000 Hz)
Mecasonic (Micro Méga)	- Schallvibration (1.500-3.000 Hz); Antriebsdrehzahl: 30.000 min ⁻¹
YoshidaRooty (Hager&Werken)	- Schallvibration (6.000 Hz)
MM 1500 SonicAir (Micro Méga)	- Schallvibration (1.500-3.000 Hz)
<u>Ultraschallsysteme</u> [arbeiten auf Basis der Magnetostriktion (Umwandlung elektromagnetischer in mechanische Energie; das magnetische Wechselfeld erzeugt mechanische Schwingungen) oder mit piezoelektrischen Effekten (mechanische Schwingungen werden durch Dimensionsänderungen eines Kristalls im elektrischen Feld erzeugt); größte Amplitude tritt an der Feilenspitze auf]	
Cavi Endo (DeTrey)	- elliptische und longitudinale Schwingungen von 25.000 Hz
Piezon Master (EMS)	- Ultraschall- Piezokeramik 25.000 Hz
ENAC OE 3 JD (Osada)	- Ultraschall- Piezokeramik 30.000 Hz
Piezotec PU 2000 (Satelec)	- Ultraschall- Piezokeramik 27.500 Hz
Spacesonic (Morita)	

Tab. 4: Übersicht über Nickel-Titan-Feilen zur Wurzelkanalaufbereitung (Caselitz und Koçkapan 1990; Tepel 1998; Hülsmann et al. 1999; Gençoğlu und Garip 2000; Heidemann 2001; Stellungnahme DGZ & DGZMK 2005)

<u>Nickel-Titan-Feilen zur maschinellen Wurzelkanal-aufbereitung</u>	<u>Funktionsweise</u>
Lightspeed (Max-Dental)	- siehe unten
ProFile .04/.06 (Maillefer)	- siehe unten
Mity-Roto-Files (Loser)	- Rotation (360°)
FlexMaster (VDW)	- siehe Kapitel „Material und Methoden“, Punkt 6.2.2
RaCe (FKG)	- siehe unten
ProTaper (Maillefer)	- Rotation (360°)
GT Rotary (Maillefer)	- Rotation (360°)
K3 (Kerr)	- Rotation (360°)
Quantec (Tycom)	- Rotation (360°)
NiTiTee (Loser)	- Rotation (360°)
HERO 642 (Micro Mega)	- siehe unten

RaCe-System

RaCe ist ein Akronym für „**R**eamer with **A**lternating **C**utting **E**dg**e**s“ (Reamer mit alternierenden Schneidekanten) und zeichnet sich durch folgende Konstruktionsmerkmale aus:

- abgerundete, nichtschneidende Spitze
- scharfe Schneidekanten
- Verkürzung der Schneiden (9 bzw. 10 mm bei den PreRaCe-Feilen)
- Konizitäten von 2% bis 10%
- konvexer dreieckiger Querschnitt, viereckiger Querschnitt bei den kleinsten Feilen (.02/ #15 und .02/ #20)
- alternierende Schneidekanten (kurze gedrehte Areale wechseln sich mit geraden Bereichen ab)
- Stahlfeilen beim Crown-Down (.08/ #35 und .10/ #40)
- großer Spanraum
- Umdrehungsgeschwindigkeit bei 300 bis 600 min⁻¹ (Baumann 2002).

Lightspeed-Methode

Die *Lightspeed*-Instrumente stellen eine Weiterentwicklung der *Canal Master U*-Instrumente dar. Ein Satz besteht aus 22 Größen. Ihre Instrumentenspitze ist nichtschneidend, der schneidende Teil ist zwischen 0,25 und 1,75 mm lang. Durch den U-förmigen Querschnitt bilden die Schneidflächen einen neutralen Winkel zur Zahnhartsubstanz. Mit einer konstanten Drehzahl von 750-2.000 UpM wird zunächst ein apikaler Stop angelegt und dann in Step-Back-Technik präpariert (Peters et al. 1997).

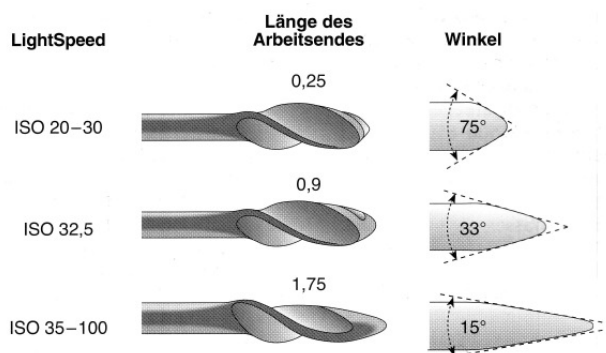


Abb. 15: Lightspeed-Instrumente. (Hellwig et al. 1999)

HERO 642-System

Die Abkürzung *HERO 642* steht für **H**ohe **E**lastizität in **R**otation mit Konizitäten von 2, 4 und 6%. Ein Instrumentensatz besteht aus 12 modifizierten Heli-Feilen mit drei positiven Spiralkanten, einem progressiven Gewinde und einer nichtschneidenden Instrumentenspitze. Es wird bei Umdrehungszahlen von 300 bis 600 UpM die Crown-Down-Technik eingesetzt (Schade 2000; Hülsmann und Schade 2000; Heidemann 2001).

ProFiles

Das Instrumentenset besteht aus Orifice-Shapern O.S. (19 mm lang, Konizitäten 5-8%) zur Bearbeitung des koronalen Drittels, den konischen ProFile 06 (Konizität von 6%, ISO-Größe 15-40) für den mittleren Bereich sowie den ProFile 04 (Konizität von 4%, ISO-Größe 15-90) zur apikalen Präparation. Die Feilen haben einen U-förmigen Querschnitt, eine nichtschneidende „Batt“-Spitze und sogenannte „radial lands“ – breite seitliche Führungsflächen, die in der Kontaktzone zwischen Instrument und Wurzelkanal abgerundet sind und so das

Instrument zentriert im Kanal halten. Ein konstanter Zuwachs des Instrumentendurchmessers von 29,4% von Instrumentengröße zu Instrumentengröße wurde verwirklicht. Als Antrieb eignet sich ein Motor mit konstanter Drehzahl zwischen 150 und 350 UpM (ideal 250 UpM). Die Aufbereitung teilt sich ein in die **(1)** Crown-Down-Phase [O.S. #4 (.07/50) → O.S. #3 (.06/40) → .06/30 → .06/25 → .04/30 → .04/25], **(2)** Bestimmung der exakten Arbeitslänge, **(3)** apikale Aufbereitung (.04/25 → .04/30) und **(4)** abschließendes Erweitern und Formen (.06/25) (Herrmann 1999; Büning und Ioannou 1999; Heidemann 2001; Beer et al. 2004; ProFile Firmeninformation).

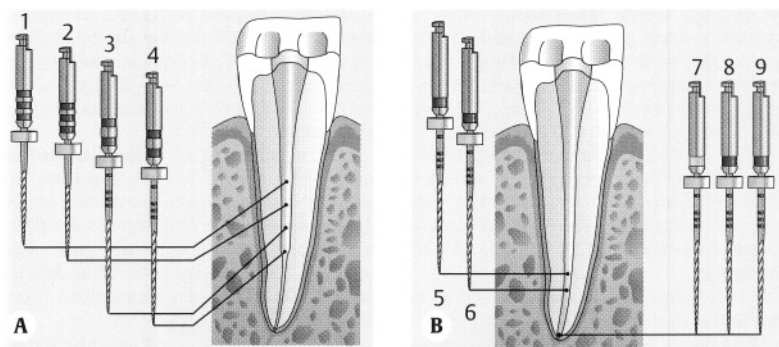


Abb. 16: Aufbereitungsfolge mit ProFiles.
(Beer et al. 2004)

4.3.4.3 Laser und nichtinstrumentelle Techniken

Unterschiedliche **Lasersysteme** (CO_2 -, Nd:YAG-, Ho:YAG-, Er:YAG- und Excimer-Laser) wurden bereits experimentell hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Kanalwanddentin und die periradikulären Strukturen bei der Wurzelkanalaufbereitung untersucht. Dabei zeigten einige eine gute Desinfektionswirkung, aber viele Probleme wie das Verschmelzen des Dentins zu einer porzellanähnlichen Substanz mit dem Entstehen von Haarrissen, die kaum zu kontrollierende Eindringtiefe und somit die Gefahr der Koagulation über den Apex hinaus und die Frakturgefahr der Faseroptiken konnten bis jetzt noch nicht hinreichend gelöst werden (Stellungnahme DGZ & DGZMK 2001; Heidemann 2001).

Die von Lussi et al. 1993 entwickelte **nicht instrumentelle Technik (NIT)** arbeitet mit schnell wechselnden Druckschwankungen im Unterdruckbereich. Dabei wird NaOCl in den Kanal eingebracht und es kommt durch die Druckschwankungen zur Bildung und Implosion von Blasen (Kavitation). Das NaOCl wird im gesamten

Kanalsystem verteilt und bewirkt die Auflösung der Gewebereste bis in die Seitenkanälchen hinein. Aktuelle klinische Studien zur NIT zeigen bei 5- bis 10-minütiger Spüldauer in vitro teilweise signifikant bessere Reinigungswirkung als bei der mechanischen Aufbereitung, allerdings konnten diese Ergebnisse bis jetzt in vivo noch nicht bestätigt werden und diese Technik bedarf einer weiteren Verbesserung, um akzeptable klinische Ergebnisse zu erzielen (Heidemann 2001; Attin et al. 2004; Lussi et al. 2004). Eine Modifikation der NIT zur Füllung der so aufbereiteten Wurzelkanäle zeigt in vivo gleiche Ergebnisse wie die konventionelle Fülltechnik mittels lateraler Kondensation (Lussi et al. 2002).

Bei der **Depotphorese** (von *Knappworst* propagandiert) wird mittels Wechselstrom eine eingebrachte Kupfer-Kalziumhydroxid-Suspension bis nach apikal transportiert und bewirkt eine Desinfektion des Kanalsystems. Dieses System konnte sich klinisch nicht bewähren (Heidemann 2001; Hülsmann und Georgi 2006).

Mit dem Hochfrequenzchirurgie-System **Endox** kommt es zur Verdampfung des Pulpagewebes, und das Wunddentin wird oberflächlich verschmolzen. Auch in der dritten Generation zeigt dieses System alleine keine zufriedenstellende Elimination von Pulpengewebe und sollte deshalb nur in Verbindung mit einer mechanischen Instrumentierung angewandt werden (Heidemann 2001; Lendini et al. 2005).

5 Ziele der Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, verschiedene neuartige Antriebe mit Drehmomentbegrenzung und unterschiedliche Feilen zur Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle zu verwenden und hinsichtlich Arbeitssicherheit, Aufbereitungszeit und Beibehaltung der originären Kanalform zu untersuchen und miteinander zu vergleichen.

Folgende Fragen wurden gestellt und galten als Grundlage, auf die die Untersuchungsergebnisse zu beziehen waren:

1. Zeigt die maschinelle Aufbereitung eine Zeitersparnis gegenüber der Handaufbereitung?
2. Erhöhen drehmomentbegrenzte Motoren die Arbeitssicherheit hinsichtlich Feilenfrakturen?
3. Welche Instrumente und welche Aufbereitungstechniken bzw. welche Kombinationen aus beiden behalten am besten den originären gekrümmten Kanalverlauf bei?
4. Welche Feilen zeigen einen gleichmäßigen Materialabtrag?
5. Welche Instrumente mit welcher Aufbereitungsmethode sind bei der Präparation gekrümmter Kanäle am wenigsten frakturgefährdet?
6. Mit welchen Systemen kommt es zur geringsten Kanalbegradigung?

Dazu wurden zwei drehmomentbegrenzte Antriebe – der *EndoStepper*[®] von VDW und das *ENDOfash*[®]-Winkelstück von KaVo – verwendet und bezüglich der Frakturnrate beurteilt. Zur Präparation nach den beiden Methoden Step-Back und Crown-Down wurden *NiTi-FlexMaster*[®]-Feilen, *ENDOfash*[®]-Instrumente aus Edelstahl bzw. Nickel-Titan und sowohl *Flexofiles*[®] als auch *Flexoreamer*[®] zur Handaufbereitung angewandt. Zu prüfen waren Aufbereitungszeit, Instrumentenbrüche, Materialabtrag an Innen- und Außenkrümmung und Veränderung des Krümmungswinkels.

In einer ersten Versuchsreihe sollten dabei gekrümmte Kanäle in Kunststoffblöcken aufbereitet werden, da diese immer gleiche Abriebeigenschaften und ähnliche Krümmungswinkel zeigen (Schäfer und Tepel

1993; Tepel et al. 1993) und somit die Versuche nach standardisierten Bedingungen bei guter Reproduzierbarkeit möglich waren. In der zweiten Versuchsreihe waren zur Überprüfung der klinischen Relevanz die Wurzelkanäle extrahierter Zähne aufzubereiten.

Die Ergebnisse aus beiden Untersuchungsteilen sollen in ihrer Gesamtheit analysiert und beurteilt werden, um eine Empfehlung zur klinischen Anwendung der Systeme und Techniken geben zu können.

6 Material und Methoden

6.1 Aufbau der Versuchsreihen

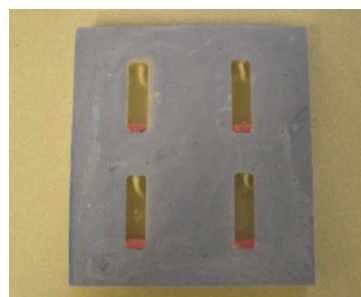
Mit dem Ziel, gekrümmte Wurzelkanäle vor und nach der Aufbereitung vergleichen zu können, mußte ein Versuchsaufbau gefunden werden, der es möglich macht, die Darstellung der Kanäle sowohl in Kunststoff als auch am extrahierten Zahn in gleicher Weise immer wieder reproduzieren zu können. Dies ist mit dem digitalen Röntgen durchführbar (Röntgengerät *GENDEX*[®] der Firma *SECONDENT*).

Verwendet wurde die Rechtwinkeltechnik. Dazu wurde direkt auf dem Röntgentubus eine Halterung fixiert, die passend zum Tubus selbst aus Kunststoff angefertigt und den Maßen der standardisierten Kunststoffblöcke angepasst wurde. So wird garantiert, dass die Kunststoffblöcke immer wieder in der gleichen Position zu Tubus und Röntgenbild fixiert und geröntgt werden können.

Um die Reproduzierbarkeit auch an den extrahierten Zähnen gewährleisten zu können, mussten diese in Kunststoffblöcke eingebettet werden, die die gleichen Abmessungen wie die standardisierten Kunststoffblöcke haben. Dazu wurde aus den standardisierten Kunststoffblöcken eine Gips-Negativform angefertigt, in diese die extrahierten Zähne eingebracht und mit klarem Kunststoff *Palapress*[®] der Firma *Heraeus Kulzer* aufgefüllt. Die Negativform wurde anschließend für 30 min im Drucktopf belassen. Nach Aushärten des Kunststoffes wurden die eingebetteten Zähne aus der Gipsform entnommen und eventuelle Kunststoffüberreste entfernt. Die so angefertigten Blöcke haben die gleichen Maße wie die standardisierten Kunststoffblöcke.



(a)



(b)

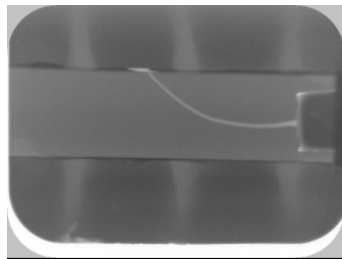
Abb. 17: Gipsnegativform mit eingebrachten (a) und in Kunststoff eingebetteten (b) extrahierten Zähnen

6.1.1 Verwendung von Kunststoffblöcken

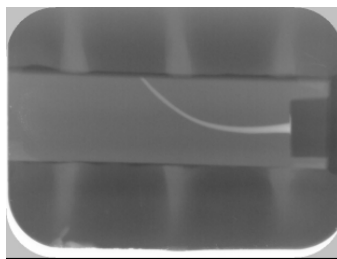
Bei der Auswahl der Kunststoffblöcke wurde darauf geachtet, dass das apikale Ende des Kanals nicht im Kunststoffblock liegt, sondern offen ist. Nur dann ist es möglich, ein Röntgenkontrastmittel blasenfrei in den gesamten Kanal einzubringen. Verwendung fanden vorgefertigte Kunststoffblöcke der Firma *S.E.T. (Olching)*.

Nach Überprüfung der Durchgängigkeit mittels einer K-Feile ISO 10 wurde der Kanal mit Hilfe einer Spritze und stumpfer Kanüle mit dem Röntgenkontrastmittel *Lipiodol® Ultra-Fluid* gefüllt und Überschüsse mit Zellstoff entfernt. Danach wurde die Röntgenaufnahme bei 65 kV, 7,5 mA und 0,08 s digital angefertigt.

Anschließend erfolgte sofort eine Spülung mit Wasser und Trocknen des Kanals mit Papierspitzen. Nach der Aufbereitung des Kanals wurde dieser erneut wie oben beschrieben mit Kontrastmittel gefüllt und bei 65 kV, 7,5 mA, 0,12 s geröntgt. Die Röntgenbilder wurden im Computer gespeichert und später nachbearbeitet (*Corel Draw 9; Photoshop 6*).



(a)



(b)

Abb. 18: Kanal K20
(a) vor Aufbereitung
(b) nach Aufbereitung
mit *KaVo ENDOflesh®/NiTi/ Step-Back-Technik*

Kunststoffblöcke mit künstlichen Kanälen stellen jedoch nur eine idealisierte Variante dar, da sie stets gleiche Abriebeigenschaften haben. Diese haben jedoch maßgeblichen Einfluss auf die Ausprägung der sich bei der Aufbereitung darstellenden Formveränderungen, die schneller und wesentlich ausgeprägter als an menschlichen Zähnen auftreten, da der verwendete Kunststoff 3- bis 4fach weicher als menschliches Wurzelkanalentin ist. Aber zur Durchführung standardisierter Untersuchungen und Erforschung der Modifikationen des Wurzelkanallumens sind Kunststoffprobekörper aufgrund der sehr guten Reproduzierbarkeit geeignet (Schäfer und Tepel 1993; Tepel et al. 1993; Lindner et al. 1995; Kaup und Ott 1998).

Es ist jedoch nötig, die Formveränderungen auch an extrahierten Zähnen zu untersuchen.

6.1.2 Auswahl der extrahierten Zähne

Für die Versuche wurden extrahierte Unter- und Oberkiefermolaren (insbesondere 6er) genutzt, die mindestens eine gekrümmte Wurzel aufwiesen. Mittels Diamantscheibe wurde die Krone von den Wurzeln getrennt und der Zahn so geteilt, daß jede gekrümmte Wurzel einzeln vorlag. Nach Prüfung der Durchgängigkeit blieben nur diejenigen Wurzeln übrig, welche nicht weiter als ISO 15 und vollständig durchgängig waren. Das heißt von insgesamt 320 Wurzeln wurden 188 von vornherein verworfen (das entspricht 58,75%). Die verbliebenen 132 Kanäle wurden mit Kontrastmittel gefüllt (Vorgehen wie bei den Kunststoffblöcken, s. 6.1.1), sowohl in mesio-distaler als auch in bucco-oraler Richtung geröntgt und optisch beurteilt. Dabei wurden die Kanäle aussortiert, die eine weite apikale Konstriktion, schwierige anatomische Verhältnisse, eine gewundene Kanalführung oder sonstige komplizierte Verhältnisse aufwiesen. So wurde erreicht, dass alle Kanäle ähnliche Voraussetzungen erfüllen. Die verbliebenen 80 Wurzeln wurden, wie bereits in Punkt 6.1.1 beschrieben, fixiert und nochmals geröntgt. Anschließend erfolgte die willkürliche Zuordnung zu neun Versuchsreihen.

Bis zu ihrer Aufbereitung verblieben die Wurzeln in Chlorhexidin 0,5% und wurden im Anschluß daran sofort zur Auswertung mit Röntgenkontrastmittel geröntgt.

Sowohl bei den Kunststoffblöcken als auch bei den extrahierten Zähnen erfolgte vor und nach der Aufbereitung die Bestimmung der Arbeitslänge mittels einer Feile ISO 10 und die Messung der Aufbereitungszeit mit einer Stoppuhr.

In den einzelnen Versuchsgruppen wurde die Aufbereitung mit dem *EndoStepper*[®] in Verbindung mit *FlexMaster*[®]-Feilen und dem *KaVo ENDOflash*[®] in Verbindung mit *ENDOfash*[®]-Feilen aus Edelstahl bzw. Nickel-Titan gegenüber der Handaufbereitung mit *K-Flexofiles*[®] und *Flexoreamern*[®] an Kunststoffblöcken und extrahierten Zähnen untersucht. Dabei kamen die Crown-Down- und die Step-Back-Technik zum Einsatz. Alle Feilen wurden maximal zweimal benutzt (siehe Abbildung 19: Versuchsaufbau).

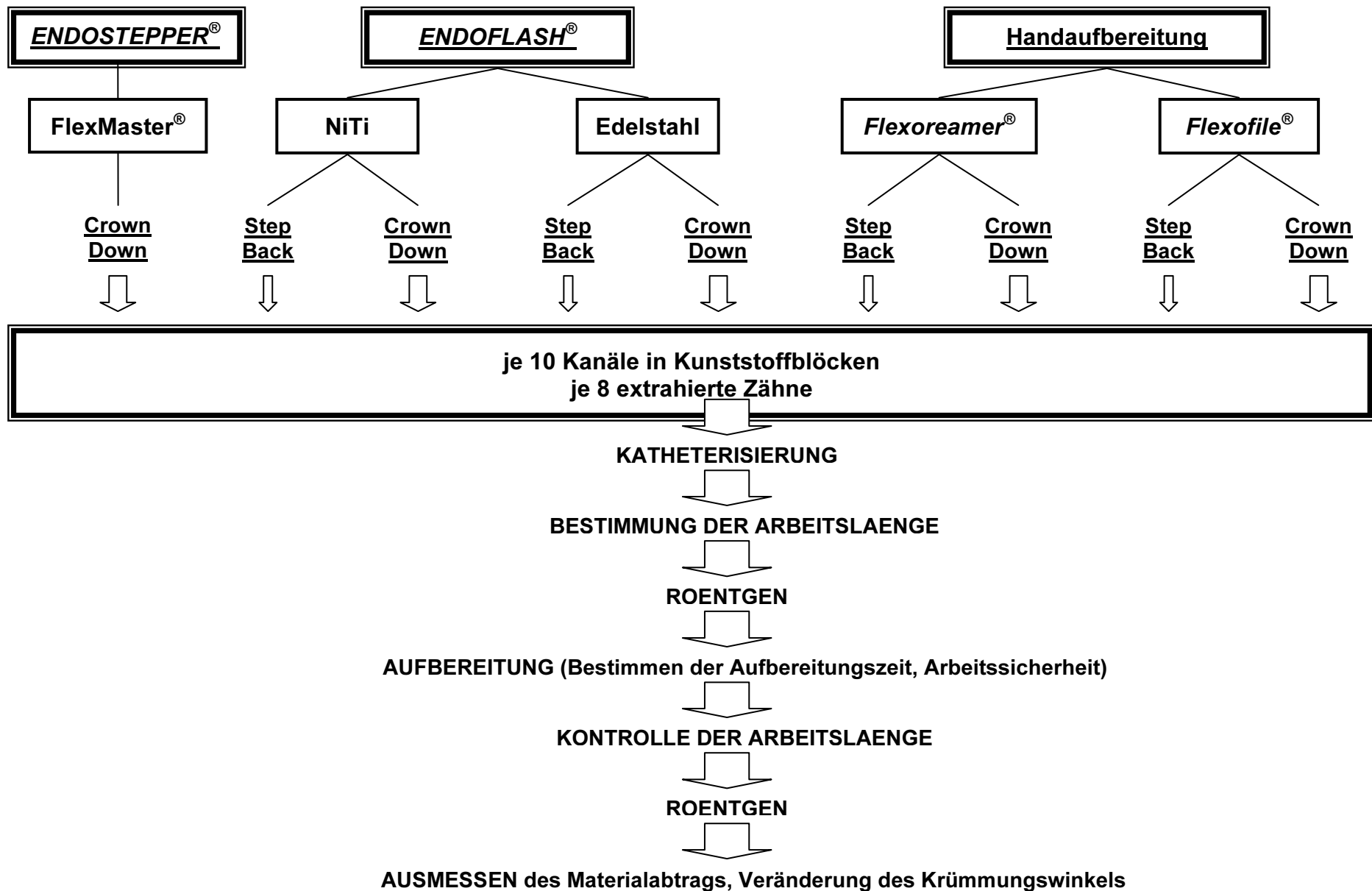


Abbildung 19: Versuchsaufbau zur Prüfung manueller und maschineller Aufbereitungsmethoden an normierten Kanälen in Kunststoffblöcken und an Wurzelkanälen extrahierter Zähne

6.2 Die maschinelle Aufbereitung mit dem *EndoStepper*[®]

6.2.1 Arbeitsweise des *VDW EndoStepper*[®]

Der *EndoStepper*[®], entwickelt von der Firma S.E.T. (Olching) und zeitweise vertrieben von der Firma VDW, ist ein Medizinprodukt der Klasse IIa nach EN 60601.

Er dient als Antrieb für Winkelstücke 1:1 (blauer Ring; in der vorliegenden Arbeit genutzt: *W&H TREND WD-56 EM*). Der Schrittmotor „zerlegt“ jede Umdrehung in 1.600 Einzelschritte von jeweils 0,225°.



Abb. 20: VDW *EndoStepper*[®]
(Fort-Schritt. Anwendungsbroschüre VDW)

Die instrumentenspezifische Belastung ist eingespeichert. Dabei werden eindeutig begrenzte und reproduzierbare Drehmomente für den Antrieb bereitgestellt. Der Sicherheitsbereich der Wurzelkanalinstrumente wird dadurch eingehalten, dass der Motor stoppt, sobald die einprogrammierte Belastung erreicht wird. Nach einer kurzen Pause startet der Antrieb neu. Ist die Feile im Kanal blockiert, erkennt dies der Motor am Widerstand und dreht nicht weiter.

Ein blockiertes Instrument wird durch Links-/Rechts-Schritte wieder gelöst. Ist dies nicht ausreichend, kann der Linkslauf der Feile zugeschaltet werden.

Weitere Funktionen des *EndoSteppers*[®] sind „Torque“ (Hochsetzen des Drehmoments bis knapp unter den Grenzwert), „Speed“ (Reduzierung der Drehzahl um 40% bei der Verwendung von Gates-Erweiterern) und „Rinsing“ (oszillierende Flüssigkeitsaktivierung zum Spülen des Kanals). Zur Optimierung des Antriebs sollte jedes 1:1 Winkelstück vor dem ersten Gebrauch kalibriert werden (Firmeninformation VDW).

6.2.2 FlexMaster® – Feilen

Bei den *FlexMaster*®-Feilen der Firma *ANTÆOS*® handelt es sich um Nickel-Titan-Instrumente. Merkmale sind der konvexe Querschnitt und die Schneidekanten vom Typ „K“, wodurch laut Hersteller Stabilität, Schneidleistung und Torsionswiderstand deutlich erhöht werden sollen. Die nichtschneidende Batt-Spitze führt die Feile im Kanal.

Zum System gehören drei verschiedene Instrumentensequenzen zur Aufbereitung weiter, mittlerer und enger



Abb. 22:
FlexMaster Systembox
(FlexMaster.Firmeninformation VDW)

Kanäle, durch die Farben blau,

rot und gelb am Schaft gekennzeichnet, sowie eine grüne Sequenz für die apikale Erweiterung. Des weiteren werden drei Konizitäten (2%, 4%, 6%) unterschieden und durch Ringkerbungen kenntlich gemacht. So wird mit der Bezeichnung .06/30 eine Konizität von 6% einer Feile ISO 30 verschlüsselt.

Die Instrumente werden über eine Druckknopfvorrichtung im Winkelstück befestigt und unter leichtem Druck mit einer empfohlenen Drehzahl

zwischen 150 und 300 UpM benutzt. Bei der Aufbereitung sollte die Crown-Down-Technik zur Anwendung kommen (FlexMaster. Firmeninformation VDW).

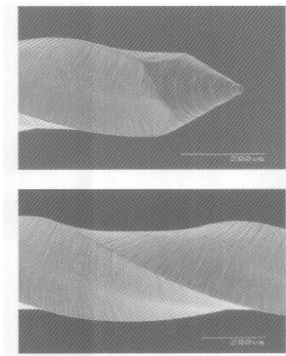


Abb. 21:
nichtschnedende
Spitze; großer Span-
raum
(FlexMaster.Firmenin-
formation VDW)

6.2.3 Wurzelkanalaufbereitung mit dem VDW EndoStepper® und FlexMaster®-Feilen

Nach Prüfung der Durchgängigkeit und Anfertigung einer Ausgangsaufnahme sowohl der Kanäle im Kunststoffblock als auch der extrahierten Zähne wurde eine K-Feile ISO 10 zur Ermittlung der Arbeitslänge und Feststellung der Kanalgröße (weit, mittel, eng) in den Kanal eingeführt. Anschließend erfolgt die Aufbereitung.

Vorgehen bei einem engen Kanal

Nach Überprüfung der Durchgängigkeit und Bestimmen der Arbeitslänge wird diese über den Silikonstopper an jeder Feile der gelben Sequenz eingestellt und die erste Feile in das Winkelstück eingespannt. Es erfolgt zunächst das Kalibrieren des Winkelstücks (zur Bestimmung des aktuellen Wirkungsgrades und somit zur Drehmomentkorrektur) und die Anwahl der entsprechenden Sequenz über die Funktionstasten oder das Fußpedal des *EndoSteppers*®. Dabei muß jede einzelne Feile neu angewählt werden, um den eingespeicherten Drehzahlbereich nutzen zu können.

Mit *FlexMaster*® .06/20 wird der Wurzelkanal bis zur Kanalmitte erweitert. Anschließend werden die Feilen in der Reihenfolge .04/30 und .04/25 angewandt, gelangen tiefer in den Wurzelkanal und bereiten weiter auf. Es sollte immer nur sehr leichter Druck auf das Winkelstück ausgeübt, das Instrument mit 5-8 Pumpbewegungen leicht auf- und abwärts geführt werden und maximal 10 Sekunden im Kanal arbeiten. Mit *FlexMaster*® .04/20 wird die Crown-Down-Phase abgeschlossen und mittels Röntgenmeßaufnahme die Arbeitslänge exakt bestimmt. Diese wird auf alle Feilen zur apikalen Erweiterung übertragen. Das Instrument .02/20 wird bis zum Apex eingeführt. Es wird um drei Größen erweitert (.02/20, .02/25, .02/30). Abschließend erfolgt die konische Ausformung des Wurzelkanals auf voller Länge mit .02/35.

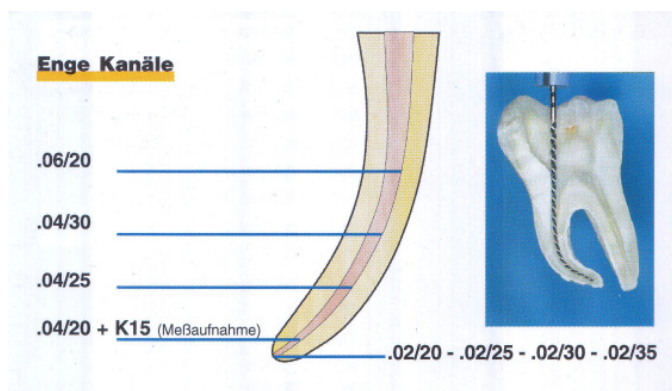


Abb. 23: Vorgehen bei einem engen Kanal
(FlexMaster.Firmeninformation VDW)

Nach jedem Instrumentenwechsel wurde mit dem Ultraschallgerät *Cavitron*® gespült. Die Spülfunktion des *EndoSteppers*® kommt nur als Schlusspülung nach der Aufbereitung zum Einsatz (Fort-Schritt. Anwendungsbroschüre VDW; FlexMaster. Firmeninformation VDW).

Abschließend wird der Kanal nochmals geröntgt.

6.2.4 Fehlervermeidung

Um eine Überhitzung des Motors zu vermeiden, sollte nur intermittierend gearbeitet werden. Die Display-Anzeige muss mit den verwendeten Instrumenten übereinstimmen, bei der Umstellung auf andere Programme sollten sich die Feilen nicht im Kanal befinden (Ausnahme: blockiertes Instrument). Verbogene oder beschädigte Instrumente können zu einem ständigen Blockieren, zu ungewünschten Kanalveränderungen oder sogar zu Bruch führen. Auch unzulässige Winkelstücke oder falsch korrigierte Wirkungsgradwerte bergen die Gefahr des Instrumentenbruchs (Fort-Schritt. Anwendungsbroschüre VDW; FlexMaster. Firmeninformation VDW).

6.3 Die maschinelle Aufbereitung mit dem *KaVo ENDOflash®*

6.3.1 Aufbau und Funktion des Winkelstücks

Das *ENDOflash® LUX 3 Winkelstück 3640 L* der Firma *KaVo* arbeitet nach dem Prinzip der drehmomentbegrenzten Rotation mit einer Reduzierung 40:1. Es passt auf die Motorkupplung der zahnärztlichen Einheit und versetzt die eingespannten Feilen in eine rotierende Bewegung im Uhrzeigersinn mit einer maximalen Antriebszahl von $10\,000\text{min}^{-1}$. Auch Linkslauf ist möglich. Am Winkelstück befindet sich ein Stellring, an dem das der Feile entsprechende Grenzdrehmoment in drei Stufen eingestellt werden kann. Dabei ist die weiße Markierung die Einstellung für Feilen der ISO-Größe 15, gelb für Feilen der ISO-Größe 20 und rot für alle Instrument ISO 25 und größer. Es kommt zu einem Stoppen der Rotation beim Überschreiten eines definierten Grenzdrehmoments, der laut Hersteller unter den in DIN EN ISO 3630-1 bezüglich einer Torsionsfraktur festgelegten Mindestanforderungen liegt.

Da bei ISO-Größen über 25 die Gefahr eines Verklemmens im Kanal - bereits bei Drehmomenten unterhalb derer bezüglich einer Torsionsfraktur möglich - in Vordergrund rückt, wird auch für diese Feilen die rote Einstellung am Winkelstück verwendet.

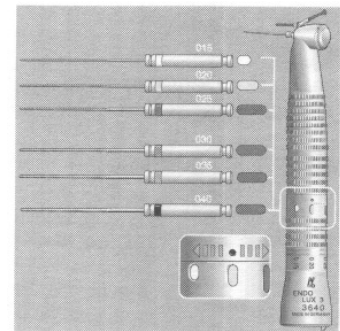


Abb. 24: ENDOflash LUX 3 Winkelstück 3640 L (ENDOflash LUX 3 Winkelstück 3640L. Gebrauchsanweisung KaVo)

Direkt am Winkelstückkopf befindet sich ein Tiefenstopphalter, der das Einstellen der Arbeitslänge ermöglicht.

Zur Aufbereitung werden *ENDOflash®-Files* empfohlen (ENDOflash LUX 3 Winkelstück 3640L. Gebrauchsanweisung KaVo).

6.3.2 *KaVo ENDOflash®-Feilen*

Die empfohlenen Feilen der Firma *KaVo* sind aus flexiblem Edelstahl und als Nickel-Titan-Instrumente erhältlich und weisen jeweils eine modifizierte nichtschneidende Batt-Spitze auf. Die am Winkelstück eingestellten Drehmomente sind auf diese Instrumente abgestimmt. *Endoflash®-Files* gibt es in den ISO-Größen 15 – 80. Zur Aufbereitung sollten die Step-Back- oder Crown-Down-Technik angewandt werden. Die Feilen sind nach maximal fünf Anwendungen auszutauschen (ENDOflash LUX 3 Winkelstück 3640L. Gebrauchsanweisung KaVo).

6.3.3 Wurzelkanalaufbereitung mit dem *KaVo ENDOflash®*

Nach Prüfung der Durchgängigkeit und Anfertigung einer Ausgangsaufnahme wird röntgenologisch die Arbeitslänge bestimmt. Diese wird mittels einer K-Feile auf eine spezielle mitgelieferte Messlehre übertragen. Über ihren Metallstift wird die Messlehre in die Spannzange des Winkelstückkopfs eingeführt und der am Kopf befindliche Tiefenstopp auf die festgelegte Arbeitslänge eingestellt.

Die erste Feile wird in den Kanal eingeführt, das richtige Drehmoment eingestellt und der Mikromotor in Gang gesetzt, wobei Leerlaufrotationen vermieden werden sollten. Mit einer nach apikal gerichteten Bewegung wird die Feile in den Kanal geführt. Steigt durch Wandkontakt der Widerstand an, wird das eingestellte Drehmoment überschritten und die Rotation gestoppt. Es schließt sich eine nach koronal gerichtete Bewegung von 1-2 mm an, wobei Material abgetragen wird. Dabei darf das Instrument den Kanal nicht verlassen. Setzt die Drehbewegung wieder ein, wird die Feile wieder nach apikal bewegt, so dass sich eine gleichmäßige korono-apikal gerichtete Bewegung ergibt. Ist die Arbeitslänge erreicht, wird zur nächstfolgenden ISO-Größe gewechselt.

Zwischen den einzelnen Feilen sollte mit H_2O_2 und/oder NaOCl gespült werden. Nach Beendigung der Aufbereitung wird der Kanal getrocknet und es erfolgt eine weitere Röntgenaufnahme (ENDOfash LUX 3 Winkelstück 3640L. Gebrauchsanweisung KaVo). Dieses Vorgehen gilt für die Kunststoffblöcke und die extrahierten Zähne.

6.3.4 Fehlervermeidung

Leerlaufrotationen im Wurzelkanal führen zu unerwünschten Kanalveränderungen und unnötigen Feilenbelastungen, die Feilenbrüche nach sich ziehen können. Sie sollten daher vermieden werden. Die nach apikal gerichtete Bewegung sollte mit minimalem Kraftaufwand erfolgen, um eine Stufenbildung bzw. ein Festrotieren der Feile zu vermeiden (ENDOfash LUX 3 Winkelstück 3640L. Gebrauchsanweisung KaVo).

6.4 Handaufbereitung

6.4.1 Feilen zur Handaufbereitung

In der vorliegenden Arbeit erfolgte die Handaufbereitung mit *Flexoreamern*[®] und *K-Flexofiles*[®] der Firma *Dentsply/Maillefer*. Diese Instrumente bestehen aus flexiblem Edelstahl (Legierungszusammensetzung: 71,7% Fe, 17,0% Cr, 8,0% Ni, 1,3% Mn, 1,2% Si, 0,7% Mo, 0,09% C, jeweils in m%) und besitzen einen dreieckigen Querschnitt (Schäfer 1998b). Sie werden durch Verdrillung eines Rohlings hergestellt, wobei *Flexoreamer*[®] 16 Windungen und *Flexofiles*[®] 29 Windungen pro Arbeitsteil aufweisen. Beide Instrumente haben eine modifizierte nichtschneidende Spitze. Der Schneidekantenwinkel beträgt bei den *Flexoreamern*[®] im Spitzenbereich etwa 23°, im Endbereich des Arbeitsteils etwa 32°. Die Werte für die *Flexofiles*[®] liegen im Bereich der Instrumentenspitze bei ca. 30° und im Endbereich des Arbeitsteils bei ca. 45°. Erhältlich sind beide Instrumententypen in den ISO-Größen 15 bis 40 und erreichen ihre größte Arbeitseffizienz bei drehend-schabender Arbeitsweise (Schäfer 1995b).

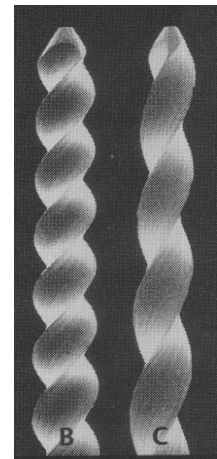


Abb. 25:
(B) Flexofile[®]
(C) Flexoreamer[®]
(Beer et al., 2004)

6.4.2 Aufbereitungstechniken

Die Handaufbereitung erfolgte in Step-Back- und Crown-Down-Technik (Erläuterungen zu den Techniken – siehe Kapitel „Einleitung“, Punkt 4.3.3). Bei der Step-Back-Aufbereitung wurde bis ISO 40 aufbereitet, wobei ab ISO 30 die Arbeitslänge um jeweils 0,5 mm pro Feile verkürzt wurde. Die Aufbereitung mittels Crown-Down-Technik geschah ab ISO 40 absteigend und anschließend nochmals bis ISO 35 aufsteigend auf der gesamten Arbeitslänge, wobei die Arbeitslänge der letzten Feile um 0,5 mm gekürzt wurde. Die Feilen wurden vorgebogen. Bei der Handaufbereitung wurden ebenfalls sowohl die Kanäle in den Kunststoffblöcken als auch die extrahierten Zähne vor der Aufbereitung auf Durchgängigkeit geprüft, geröntgt, die Arbeitslänge bestimmt und abschließend nochmals geröntgt. Zwischen den einzelnen Feilen wurden die Kanäle gespült.

6.5 Messverfahren

6.5.1 Arbeitslänge

Nach Festlegung eines Referenzpunktes zur besseren Reproduzierbarkeit wurde mit einer Feile ISO 10 die Arbeitslänge vor und nach der Aufbereitung für jeden aufzubereitenden Kanal bestimmt. Das Ausmessen des Instruments erfolgte mit einer Schiebelehre.

6.5.2 Aufbereitungszeit

EndoStepper®

Die Messung der Aufbereitungszeit mittels Stoppuhr begann mit dem Einführen des ersten Instrumentes in den Kanal und endete mit der Schlussspülung nach dem fertigen Aufbereiten. Zwischen jeder Feile wurden die Kanäle mit 2,5 ml H₂O₂ (extrahierter Zahn) bzw. 2,5 ml physiologischer Kochsalzlösung (Kunststoffblock) gespült.

KaVo ENDOfash®

Gemessen wurde die Aufbereitungszeit vom Einführen der ersten Feile bis zur Beendigung der Aufbereitung. In diese Messung fiel auch hier das Spülen zwischen jeder Feile mit 2,5 ml H₂O₂ (extrahierter Zahn) bzw. 2,5 ml physiologischer Kochsalzlösung (Kunststoffblock).

Handaufbereitung

Die Aufbereitungszeit wurde vom Einführen des ersten Instrumentes bis zur fertigen Aufbereitung gemessen. In die Messung wurden das Vorbiegen der Feilen und die Spülung zwischen jedem Instrumentenwechsel mit einbezogen.

6.5.3 Veränderung der Kanalform

Zum Vermessen der Kanäle wurden die digitalen Röntgenbilder mit *Photoshop 6.0* und *Corel Draw 9* bearbeitet, eingefärbt („vorher“-Kanäle rot, „nachher“-Kanäle blau), übereinander gelagert und 14,5-fach vergrößert auf DIN A4 farbig ausgedruckt.

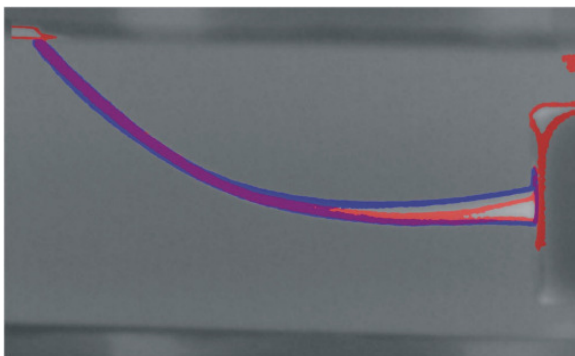


Abb. 26:
Kanal K20
Kanal vor Aufbereitung (rot) und nach Aufbereitung (blau) mit KaVo *ENDOfash*®/NiTi/ Step-Back-Technik übereinander gelagert

6.5.3.1 Krümmungswinkel

Die Kanäle wurden auf Transparentpapier durchgezeichnet und der Krümmungswinkel nach *Hülsmann* und *Stryga* (1993), angelehnt an *Schneider* (1971), bestimmt.

Dazu wurde am Kanaleingang eine Waagerechte gezogen und parallel dazu im Abstand von 2 mm (Maßstab 14,5:1) eine zweite Gerade angelegt. Von beiden Linien wurde der Mittelpunkt zwischen den Kanalwänden bestimmt und diese miteinander verbunden, so dass sich eine Parallele zur Längsachse des Kanals ergab. In gleicher Weise wurde an der apikalen Begrenzung verfahren. Beide Zentralachsen ergeben am Schnittpunkt den Krümmungswinkel.

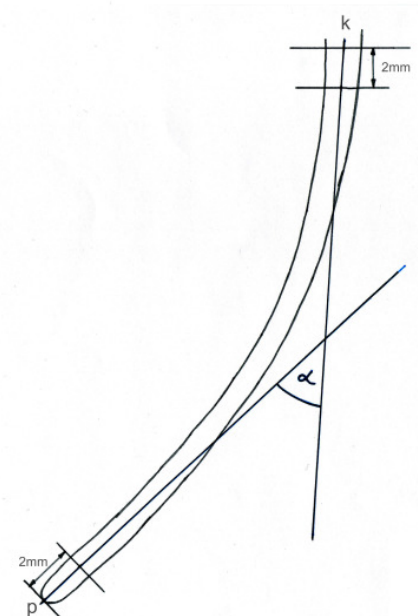


Abb. 27:
Darstellung zur Vermessung des Krümmungswinkels
k – koronale Zentralachse
p – apikale Zentralachse
 α - Krümmungswinkel

6.5.3.2 Ausmessung des Materialabtrags

Basierend auf der Methode von *Wienand* (1994) wurde eine Schablone angefertigt, auf der im Abstand von einem Millimeter mit einem Zirkel Kreise um einen Mittelpunkt gezogen wurden, der dem Apex entspricht. Diese Vorlage konnte für alle Kanäle (Kunststoff und extrahierte Zähne) verwendet werden. Gemessen wurde mit einer Schiebelehre jeweils an der Innen- und Außenkurvatur vom Schnittpunkt des Kreises mit dem Originalkanal zum Schnittpunkt mit dem aufbereiteten Kanal (siehe Abbildung 28).

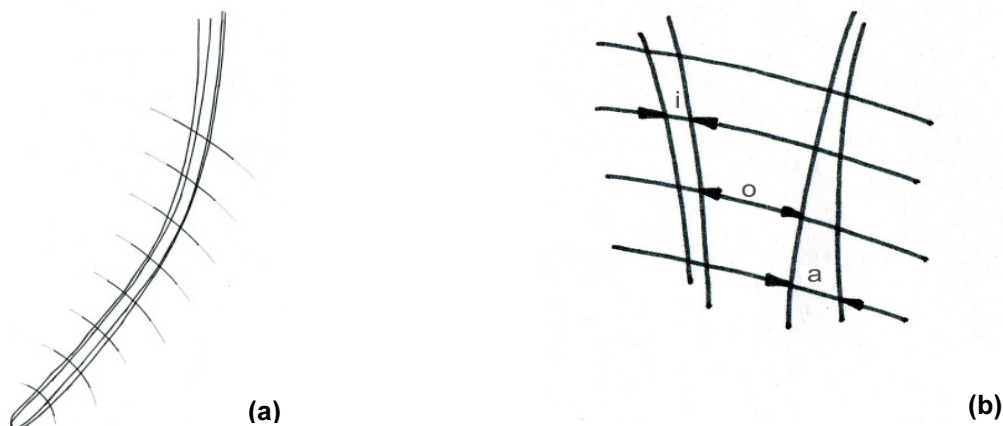


Abb. 28: Darstellung des Vorgehens zum Ausmessen des Materialabtrages
 (a) konzentrische Kreise im Abstand von 1 mm mit Apex als Mittelpunkt
 (b) Vergrößerung aus (a); die eingezeichneten Pfeile kennzeichnen die einzelnen Messstrecken
 o – Originalkanal
 i – Materialabtrag an der Innenkurvatur
 a – Materialabtrag an der Außenkurvatur

6.5.4 Arbeitssicherheit

Es wurden neben den Instrumentenfrakturen die Beibehaltung der eingestellten Arbeitslänge beurteilt.

6.6 Statistische Auswertung

Die Untersuchungsergebnisse wurden statistisch mit SPSS Version 14.0 ausgewertet. Zur Anwendung kam die 2-faktorielle Varianzanalyse, um den Einfluss der Faktoren Technik (Step Back; Crown Down) und Material (*FlexMaster*[®]/NiTi; *ENDOflash*[®]/NiTi/Edelstahl; *Flexoreamer*[®]/Edelstahl; *Flexofiles*[®]/Edelstahl) auf die Aufbereitungszeit, die Veränderung des

Krümmungswinkels, die Arbeitslängenverkürzung und den Materialabtrag an Innen- und Außenkurvatur zu analysieren. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt. Für multiple Vergleiche wurden die p-Werte mit dem *Tukey-post hoc*-Test korrigiert.

7 Ergebnisse

7.1 Aufbereitung vorgefertigter Wurzelkanäle im Kunststoffmodell

7.1.1 Verkürzung der Arbeitslänge

Die Verkürzung der Arbeitslänge betrug bei der Aufbereitung mit dem VDW *EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®]-Feilen durchschnittlich 0,182 mm, bei der Aufbereitung mit dem KaVo *ENDOfash*[®] in Verbindung mit *ENDOfash*[®]-Files aus Nickel-Titan unter Nutzung der Crown-Down-Technik lag die Verkürzung im Durchschnitt bei 0,333 mm, bei Anwendung der Step-Back-Technik bei 0,386 mm. Die Verwendung von *ENDOfash*[®]-Files aus Edelstahl ergab bei der Crown-Down-Methode eine Verkürzung der Arbeitslänge um 0,225 mm im Durchschnitt, bei der Step-Back-Technik um 0,350 mm.

Dem gegenüber steht die Handaufbereitung zum einen mit *Flexoreamern*[®], die eine durchschnittliche Arbeitslängenverkürzung von 0,300 mm bei der Crown-Down-Technik und 0,250 mm bei der Step-Back-Technik aufwiesen, zum anderen die Aufbereitung von Hand mit *K-Flexofiles*[®], bei der es im Schnitt zu einer Verkürzung von 0,325 mm sowohl unter Verwendung der Crown-Down- als auch bei Anwendung der Step-Back-Methode kam.

Somit ergibt sich die geringste durchschnittliche Arbeitslängenverkürzung bei der Aufbereitung mit dem VDW *EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®]-Feilen und die größte Reduzierung bei Verwendung des KaVo *ENDOfash*[®] mit *ENDOfash*[®]-Files aus Nickel-Titan bei der Aufbereitung nach der Step-Back-Methode.

Die statistische Auswertung ergab keine signifikanten Unterschiede (Material $p=0,366$; Technik $p=0,504$) der Arbeitslängenverkürzung im Vergleich der einzelnen Kombinationen Instrument/Technik.

Die mit 1,00 mm größte einzelne Reduzierung ergab sich bei der Aufbereitung mit KaVo *ENDOfash*[®]/NiTi/StepBack. Bei *ENDOfash*[®]/Edelstahl/StepBack, Handaufbereitung/*K-Flexofiles*[®]/CrownDown und ~/StepBack lag die maximale Verkürzung bei 0,75 mm, bei allen anderen Kombinationen war der höchste Wert 0,5 mm. Keine Veränderung der Arbeitslänge ergab sich in jeweils einem Fall bei der Aufbereitung mit KaVo *ENDOfash*[®]/NiTi/CrownDown, ~/StepBack und KaVo

ENDOflash®/Edelstahl/StepBack, in je zwei Fällen bei Verwendung von *KaVo* *ENDOflash*®/Edelstahl/CrownDown und allen vier Kombinationen der Handaufbereitung sowie fünfmal unter Nutzung von *VDW EndoStepper*®/*FlexMaster*®-Feilen.

Die Verteilung der einzelnen Werte, Mittelwert und Standardabweichung sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tab. 5: Arbeitslängenverkürzung nach Aufbereitung der Wurzelkanäle im Kunststoffblock

Arbeitslängenverkürzung	0,00 mm	0,25 mm	0,50 mm	0,75 mm	1,00 mm	Ø
<u>EndoStepper/ FlexMaster</u>	5	4	2	0	0	0,182 (±0,20)
<u>ENDOflash/ NiTi/ CrownDown</u>	1	4	4	0	0	0,333 (±0,18)
<u>ENDOflash/ NiTi/ StepBack</u>	1	6	2	1	1	0,386 (±0,28)
<u>ENDOflash/Edelstahl/ CrownDown</u>	2	7	1	0	0	0,225 (±0,14)
<u>ENDOflash/Edelstahl/ StepBack</u>	1	5	3	1	0	0,350 (±0,21)
<u>Hand/ Flexoreamer/ CrownDown</u>	2	4	4	0	0	0,300 (±0,20)
<u>Hand/ Flexoreamer/ StepBack</u>	2	5	2	0	0	0,250 (±0,18)
<u>Hand/ Flexofile/ CrownDown</u>	2	4	3	1	0	0,325 (±0,24)
<u>Hand/ Flexofile/ StepBack</u>	2	4	3	1	0	0,325 (±0,24)

7.1.2 Aufbereitungszeit

Zur Aufbereitung der Wurzelkanäle im Kunststoffblock wurde als geringste durchschnittliche Aufbereitungszeit 433 s, das entspricht 7 min 13 s, bei Verwendung von *ENDOflash*®/NiTi/CrownDown ermittelt. Der größte Mittelwert der benötigten Zeit zur Aufbereitung betrug 830 s (13 min 50 s) bei der Handaufbereitung mit *Flexoreamer*®/StepBack. Die ermittelten Durchschnittswerte der anderen Kombinationen zur Aufbereitung lagen zwischen diesem Minimal- und Maximalwert und werden im Folgenden einzeln dargestellt. In Klammern kann die Standardabweichung abgelesen werden.

1. *EndoStepper*®/*FlexMaster*®:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 784 s = 13 min 04 s (± 145 s)
- Minimalwert: 618 s = 10 min 35 s
- Maximalwert: 1116 s = 18 min 36 s

2. KaVo *ENDOf*lash®/NiTi/CrownDown:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 433 s = 7 min 13 s (± 147 s)
- Minimalwert: 120 s = 2 min 00 s
- Maximalwert: 625 s = 10 min 25 s

3. KaVo *ENDOf*lash®/NiTi/StepBack:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 677 s = 11 min 17 s (± 218 s)
- Minimalwert: 392 s = 6 min 32 s
- Maximalwert: 1197 s = 19 min 57 s

4. KaVo *ENDOf*lash®/Edelstahl/CrownDown:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 538 s = 8 min 58 s (± 88 s)
- Minimalwert: 382 s = 6 min 22 s
- Maximalwert: 669 s = 11 min 09s

5. KaVo *ENDOf*lash®/Edelstahl/StepBack:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 468 s = 7 min 48 s (± 185 s)
- Minimalwert: 244 s = 4 min 04 s
- Maximalwert: 807 s = 13 min 27 s

6. Hand/*Flexoreamer*®/CrownDown:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 811 s = 13 min 31 s (± 297 s)
- Minimalwert: 388 s = 6 min 28 s
- Maximalwert: 1427 s = 23 min 47 s

7. Hand/*Flexoreamer*®/StepBack:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 830 s = 13 min 50 s (± 239 s)
- Minimalwert: 511 s = 8 min 31 s
- Maximalwert: 1233 s = 20 min 33 s

8. Hand/*Flexofile*®/CrownDown:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 737 s = 12 min 17 s (± 249 s)
- Minimalwert: 414 s = 6 min 54 s
- Maximalwert: 1198 s = 19 min 58 s

9. Hand/*Flexofile*®/StepBack:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 809 s = 13 min 29 s (± 332 s)
- Minimalwert: 520 s = 8 min 40 s
- Maximalwert: 1550 s = 25 min 50 s

Die anderen Aufbereitungszeiten lagen zwischen diesen Minimal- und Maximalwerten und sind im Anhang tabellarisch aufgeführt (Tabelle 29).

Die folgende Abbildung stellt die mittleren Aufbereitungszeiten graphisch dar.

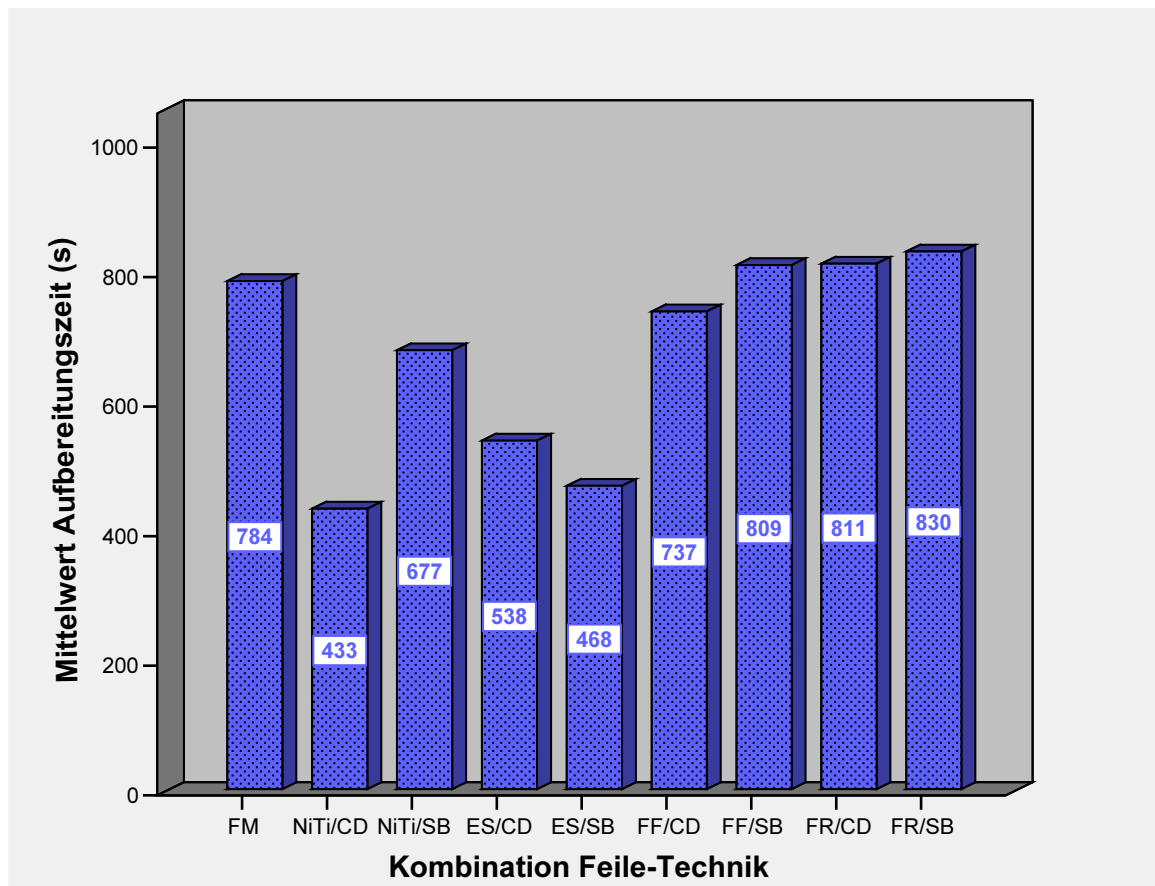


Abb. 29: Graphische Darstellung der ermittelten Durchschnittswerte der Aufbereitungszeit für die Aufbereitung vorgefertigter Kanäle im Kunststoffblock (die Bedeutung der Abkürzungen ist dem Kapitel „1 Abkürzungsverzeichnis“ zu entnehmen)

Die statistische Auswertung ergab eine signifikant geringere Aufbereitungszeit bei der Bearbeitung der Kunststoffkanäle mit *KaVo ENDOfash®/NiTi/CrownDown* gegenüber der Aufbereitung mit *EndoStepper®/FlexMaster®* ($p=0,003$) und im Vergleich zur Handaufbereitung ($p<0,05$). Die Verwendung von *KaVo ENDOfash®/Edelstahlfeilen* zeigte eine signifikant schnellere Aufbereitung gegenüber der Verwendung von *Flexoreamern®* - sowohl in der Crown-Down- als auch in der Step-Back-Technik.

In Abbildung 30 ist in einem einfachen Boxplot die empirische Häufigkeitsverteilung der Aufbereitungszeit ablesbar.

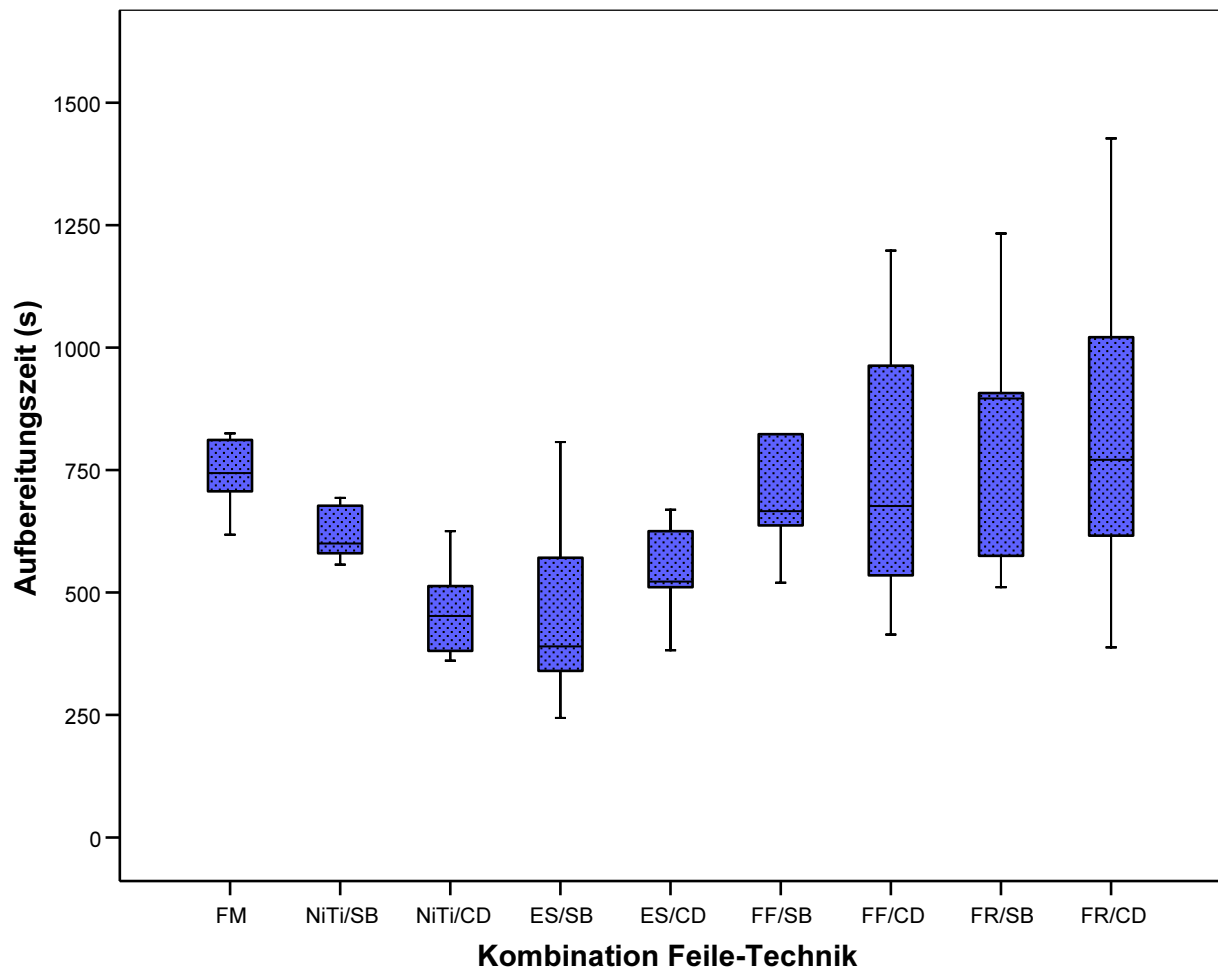


Abb. 30: Boxplotdiagramm für die Aufbereitungszeit; (die Bedeutung der Abkürzungen ist dem Kapitel „1 Abkürzungsverzeichnis“ zu entnehmen)

7.1.3 Veränderung der Kanalform

7.1.3.1 Krümmungswinkel

Vor Beginn der Aufbereitung lagen die Krümmungswinkel aller Wurzelkanäle im Kunststoffblock im Durchschnitt zwischen $42,3^\circ$ (Hand/ *Flexofile*[®]/StepBack) und $56,1^\circ$ (*EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®]). Nach der Einteilung von *Schneider* (1971) gehören alle Kanäle in die Kategorie „Grad 3“ mit einem Winkel $> 25^\circ$ und werden als stark gekrümmt eingeordnet.

Die Krümmungswinkel vor und nach Aufbereitung sowie der jeweilige Mittelwert und die Standardabweichung sind im Einzelnen in Tabelle 6 dargestellt.

Tab. 6: Kanalkrümmung vor und nach Aufbereitung, Mittelwerte, Standardabweichung (St.-abw.)

FlexMaster/ EndoStepper			ENDOflash/ NiTi/ CrownDown			ENDOflash/ NiTi/ StepBack			ENDOflash/ Edelstahl/ CrownDown			ENDOflash/ Edelstahl/ StepBack		
FM	vor	nach	K	vor	nach	K	vor	nach	K	vor	nach	K	vor	nach
A	56°	50°	8	49°	48°	4	48°	46°	1	49°	47°	2	45°	45°
B	50°	50°	9	42°	40°	12	46°	43°	6	42°	42°	5	48°	47°
C	55°	53°	11	45°	43°	17	47°	46°	7	42°	41°	10	45°	43°
D	63°	62°	16	42°	42°	19	53°	52°	14	50°	45°	13	47°	44°
E	59°	52°	21	48°	45°	20	50°	48°	18	49°	48°	15	45°	44°
F	52°	52°	25	47°	46°	22	53°	50°	23	45°	41°	24	44°	43°
G	56°	56°	34	47°	45°	28	50°	48°	27	48°	46°	26	52°	48°
H	58°	51°	35	48°	48°	29	46°	43°	30	47°	46°	38	45°	43°
K	58°	54°	36	51°	50°	32	51°	46°	31	54°	54°	39	46°	45°
L	59°	57°				37	50°	49°	33	52°	52°	41	49°	46°
M	51°	51°				40	49°	48°						
Mittelwert	56,1°	53,5°	=	46,6°	45,2°	=	49,4°	47,2°	=	47,8°	46,2°	=	46,6°	44,8°
St.-abw.	2,9°		=	1°		=	1,3°		=	1,7°		=	1,2°	

Hand/ Flexoreamer/ CrownDown			Hand/ Flexoreamer/ StepBack			Hand/ Flexofile/ CrownDown			Hand/ Flexofile/ StepBack		
H	vor	nach	H	vor	nach	H	vor	nach	H	vor	nach
1	49°	47°	7	46°	45°	5	48°	39°	2	47°	43°
4	47°	42°	8	55°	52°	10	48°	42°	3	49°	46°
6	51°	44°	9	48°	46°	12	44°	43°	11	40°	39°
16	42°	38°	14	45°	40°	15	47°	43°	13	41°	39°
17	50°	45°	19	40°	39°	20	41°	39°	18	45°	38°
51	45°	41°	31	44°	43°	41	41°	40°	46	38°	35°
52	45°	41°	32	46°	45°	42	42°	38°	47	38°	34°
53	41°	35°	33	49°	46°	43	34°	31°	48	43°	43°
54	44°	44°	35	47°	43°	44	41°	38°	49	48°	44°
55	50°	48°				45	44°	40°	50	38°	38°
Mittelwert	46,4°	42,5°	=	46,7°	44,3°	=	43°	39,3°	=	42,7°	39,9°
St.-abw.	2,1°		=	1,5°		=	2,4°		=	2,1°	

In allen Fällen kam es im Mittel zu einer Verkleinerung des Krümmungswinkels nach der Aufbereitung, was auf eine Begradigung der Kanäle zurückzuführen ist. Im Durchschnitt kam es zu einer Verringerung von 2,6° bei der Aufbereitung mit *EndoStepper®/FlexMaster®*, 1,4° bei der Verwendung von *KaVo ENDOflash®/NiTi/* CrownDown, die gleiche Kombination mit der Step-Back-Technik führte zu einer Verkleinerung um 2,2°. Bei der Aufbereitung der Kanäle mit *KaVo ENDOflash®/* Edelstahl verringerte sich der Winkel um 1,6° bei der Crown-Down- und um 1,8° bei der Step-Back-Methode. Die Handaufbereitung führte unter Verwendung von *Flexoreamern®/CrownDown* zu 3,9°, von *Flexoreamern®/StepBack* zu 2,4°

Krümmungswinkelverkleinerung. Zu einer Verringerung von 3,7° mit der Crown-Down- bzw. 2,0° mit der Step-Back-Technik kam es unter Aufbereitung von Hand mit *K-Flexofiles*®.

Die größte einzelne Veränderung betrug bei der Aufbereitung mit *EndoStepper*®/*FlexMaster*® in zwei Fällen 7°, unter Anwendung des *KaVo ENDOflesh*® mit Nickel-Titan-Feilen ergab die größte einzelne Veränderung bei der Crown-Down-Technik 3°, bei der Step-Back-Technik 5°, in Verbindung mit Edelstahl/CrownDown 5° und mit Edelstahl/StepBack 4°. Bei der Handaufbereitung wurde die größte einzelne Veränderung bei *Flexoreamern*®/CrownDown mit 7°, bei *Flexoreamern*®/StepBack mit 5°, bei Verwendung von *K-Flexofiles*® mit der Crown-Down-Technik von 9° und in Verbindung mit der Step-Back-Technik von 7° ermittelt.

Zu keinen Veränderungen des Krümmungswinkels nach der Aufbereitung kam es bei der Verwendung von *EndoStepper*®/*FlexMaster*® in vier Fällen (Ausgangswinkel bei 50°, 51°, 52° und 56°), bei der Aufbereitung mit *ENDOflesh*®/Edelstahl/CrownDown in drei Fällen (Ausgangswinkel von 42°, 52°, 54°), in je zwei Fällen bei den Kombinationen *ENDOflesh*®/NiTi/CrownDown (Ausgangswinkel bei 42° und 48°) und Hand/*Flexofile*®/StepBack (Ausgangswinkel von 38° und 43°) sowie jeweils einmal bei der Aufbereitung mit *ENDOflesh*®/Edelstahl/StepBack (45° vor Aufbereitung) bzw. Hand/*Flexoreamer*®/CrownDown (44° vor Aufbereitung). Nach Anwendung von *ENDOflesh*®/NiTi/StepBack und Hand/*Flexoreamer*®/StepBack zur Aufbereitung lag die geringste Veränderung des Krümmungswinkels in je vier Fällen und bei Anwendung von Hand/*Flexofile*®/CrownDown in zwei Fällen bei 1°.

Die mittleren Verringerungen der Krümmungswinkel in den einzelnen Kombinationen bei der Präparation vorgefertigter gekrümmter Kanäle in Kunststoffblöcken sind in Abbildung 31 dargestellt.

Auf dem Signifikanzniveau von 5% besteht zwar statistisch ein Einfluss des Materials ($p=0,028$), aber es konnte nicht nachgewiesen werden, von welchem. Erst auf dem 10%-Niveau ist eine signifikant größere Veränderung des Krümmungswinkels bei der Aufbereitung mit *K-Flexofiles*® gegenüber den *KaVo ENDOflesh*®/Edelstahlfeilen, unabhängig von der Technik, zu erkennen ($p=0,088$).

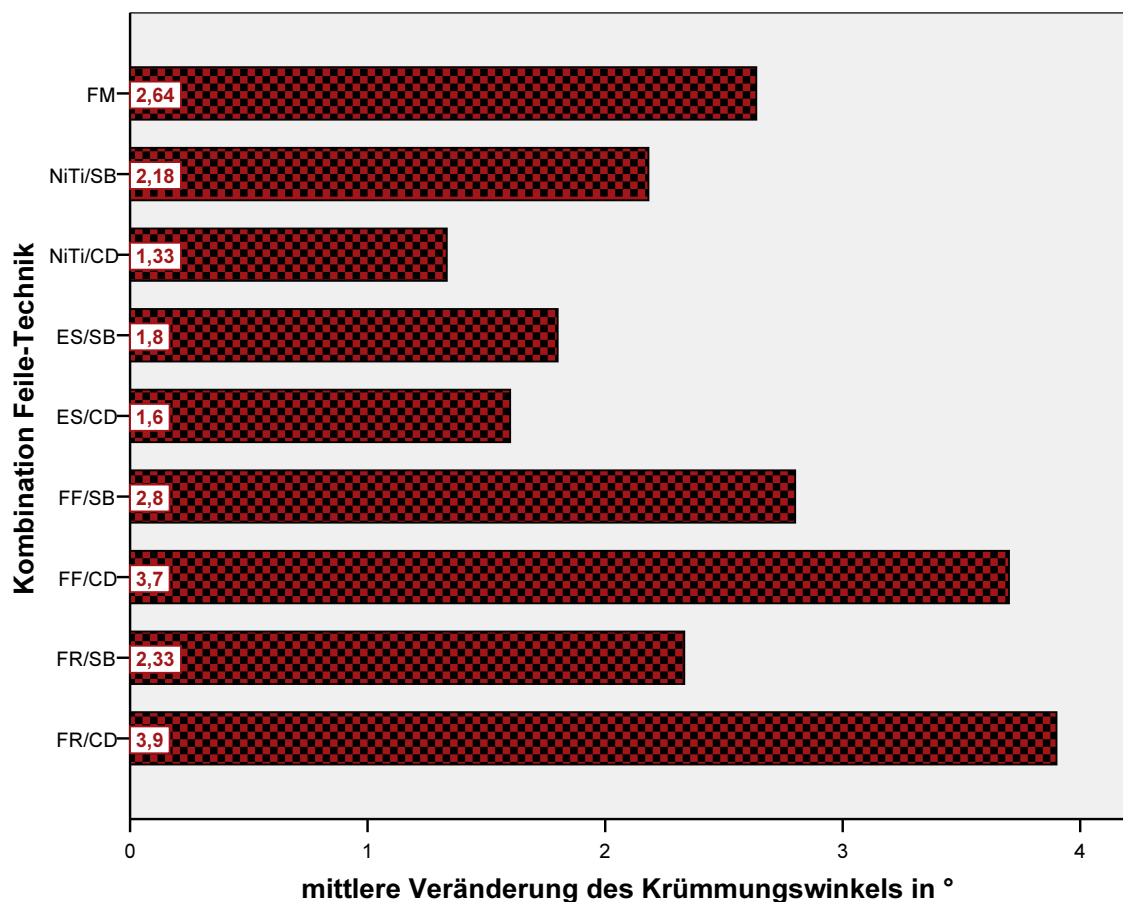


Abb. 31: Graphische Darstellung der Begradigung gekrümmter Kanäle im Kunststoffblock; (die Bedeutung der Abkürzungen ist dem Kapitel „1 Abkürzungsverzeichnis“ zu entnehmen)

7.1.3.2 Materialabtrag an Innen- und Außenkurvatur

Für jeden Wurzelkanal im Kunststoffblock wurde der Materialabtrag nach Aufbereitung ausgemessen, um so die Abweichung vom Originalkanal bestimmen zu können. Die Angabe der Werte erfolgte in mm.

Die Tabellen 11 - 19 im Anhang zeigen die Abweichung der aufbereiteten Kanäle vom Originalkanal getrennt nach Innen- und Außenkurvatur an den jeweiligen Messpunkten für die verwendeten Kombinationen zur Aufbereitung. Dabei entspricht Messpunkt 1 (Mp 1) einer Entfernung von 1 mm zum Apex, Mp 2 liegt 2 mm vom Apex entfernt, usw.

Zum besseren Verständnis und zur Vergleichbarkeit wurde aus den Einzelwerten für die jeweilige Aufbereitungskombination Mittelwerte für jeden einzelnen Messpunkt ermittelt und der gemessene Minimal- und Maximalwert angegeben.

Bei Betrachtung der Mittelwerte ist in jedem Fall eine Erweiterung zu erkennen. Die kleinsten Werte an der Innenkurvatur und somit der geringste Materialabtrag bis 0,050 mm ergibt sich für die Aufbereitung mit *EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®], *ENDOfash*[®]/NiTi/StepBack und *ENDOfash*[®]/Edelstahl/CrownDown bis zum Messpunkt 4 im apikalen Bereich, auf einer Länge von 3 mm wurde mit *ENDOfash*[®]/NiTi/CrownDown, Hand/*Flexoreamer*[®]/CrownDown, Hand/*Flexofile*[®]/CrownDown und Hand/*Flexofile*[®]/StepBack der geringste Abtrag bis 0,050 mm an der Innenkurvatur verzeichnet. Die Verwendung von Hand/*Flexoreamer*[®]/StepBack zeigt einen Materialabtrag von bis zu 0,050 mm lediglich bis zu einer Entfernung von 2 mm vom Apex an der Innenkurvatur, und bei der Aufbereitung mit *ENDOfash*[®]/Edelstahl/StepBack liegt die Abweichung vom Originalkanal an der Innenkurvatur bis zum Messpunkt 5 unter 0,050 mm.

An der Außenkurvatur befinden sich die Bereiche mit dem geringsten Materialabtrag (es wurden jeweils die drei kleinsten Werte an drei aufeinanderfolgenden Messpunkten beurteilt) an den Mp 6 – 8 unter Verwendung von Hand/*Flexoreamer*[®]/CrownDown, an den Mp 7 – 9 bei Aufbereitung mit *EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®], *ENDOfash*[®]/Edelstahl/CrownDown, *ENDOfash*[®]/Edelstahl/StepBack und Hand/*Flexofile*[®]/CrownDown. Bei allen anderen Aufbereitungskombinationen ergab sich der kleinste Materialabtrag an den Mp 8 – 10.

Die größte Erweiterung erfolgte im mittleren bis koronalen Drittel an der Innenkurvatur an den Messpunkten 7, 8 und 9 bei der Anwendung von Hand/*Flexoreamer*[®]/CrownDown, an den Messpunkten 8 – 10 unter Verwendung der drei anderen Kombinationen zur Handaufbereitung. Im koronalen Drittel lag der größte Materialabtrag an den Messpunkten 9, 10 und 11 bei der Aufbereitung mit *EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®] und *ENDOfash*[®]/Edelstahl/CrownDown, an den Messpunkten 10 – 12 bei Verwendung von *ENDOfash*[®]/NiTi/CrownDown, *ENDOfash*[®]/NiTi/StepBack und *ENDOfash*[®]/Edelstahl/StepBack. An der Außenkurvatur wurde die größte Erweiterung im apikalen Drittel an den Messpunkten 3 – 5 bei der Aufbereitung mit *ENDOfash*[®]/NiTi/CrownDown und Hand/*Flexoreamer*[®]/StepBack, bei allen anderen Kombinationen an den Messpunkten 2, 3 und 4 gemessen. Bei der Kombination Hand/*Flexoreamer*[®]/CrownDown erfolgte der größte Materialabtrag an Mp 12, gefolgt von Mp 3 und 4.

Betrachtet man den Materialabtrag an der gesamten Innenkurvatur, so wurde bei der Anwendung der Crown-Down-Technik mit den Handinstrumenten signifikant mehr Material abgetragen als mit den Nickel-Titan-Instrumenten (*ENDOfash*[®]-Feilen und *FlexMaster*[®]). An der gesamten Außenkurvatur kam es zu einem signifikant höheren Materialabtrag bei der Aufbereitung mit *ENDOfash*[®]/Edelstahlfeilen gegenüber allen anderen Instrumenten in Verbindung mit der Crown-Down-Technik ($p < 0,05$) und gegenüber Hand/*Flexofiles*[®]/StepBack ($p = 0,012$).

Betrachtet man jeden Messpunkt für sich, so stellen sich die Ergebnisse der Signifikanzprüfungen wie folgt dar:

An der Innenkurvatur zeigt sich an den Messpunkten 4 – 9 unabhängig von der Technik ein signifikant geringerer Materialabtrag bei der maschinellen Aufbereitung gegenüber der Verwendung von Handinstrumenten ($p < 0,05$). Ausnahmen sind an Mp 4 *ENDOfash*[®]/NiTi im Vergleich zu *K-Flexofiles*[®] und an Mp 8 *FlexMaster*[®] gegenüber Hand/StepBack festzustellen, bei denen keine signifikanten Unterschiede bestehen. Die Kombination *ENDOfash*[®]/Edelstahl/CrownDown trägt an den Mp 8 und 9 signifikant mehr Material ab als *ENDOfash*[®]/NiTi/CrownDown ($p = 0,022$ und $p = 0,002$). Der signifikante Bereich Mp 4 – 9 entspricht dem mittleren Drittel der Innenkurvatur.

An der Außenkurvatur bestehen signifikante Unterschiede im apikalen Drittel an den Messpunkten 1 – 5. Dabei trägt an Mp 1 *ENDOfash*[®]/Edelstahl/CrownDown gegenüber allen anderen Instrumenten in Verbindung mit der Crown-Down-Technik und *ENDOfash*[®]/Edelstahl/StepBack im Vergleich zur Handaufbereitung signifikant mehr Material ab ($p < 0,05$). Bei Betrachtung des Messpunktes 2 zeigt *ENDOfash*[®]/Edelstahl gegenüber allen anderen Kombinationen und an Messpunkt 3 im Vergleich zu den anderen Instrumenten in der Crown-Down-Technik einen signifikant höheren Materialabtrag. Schließlich besteht eine Signifikanz an den Messpunkten 4 und 5 zwischen *ENDOfash*[®]/Edelstahl und Hand/*Flexoreamer*[®]/CrownDown ($p = 0,008$).

Die folgenden Abbildungen zeigen die aufbereiteten Kanäle im Vergleich zum ursprünglichen Kanal anhand der errechneten Mittelwerte.

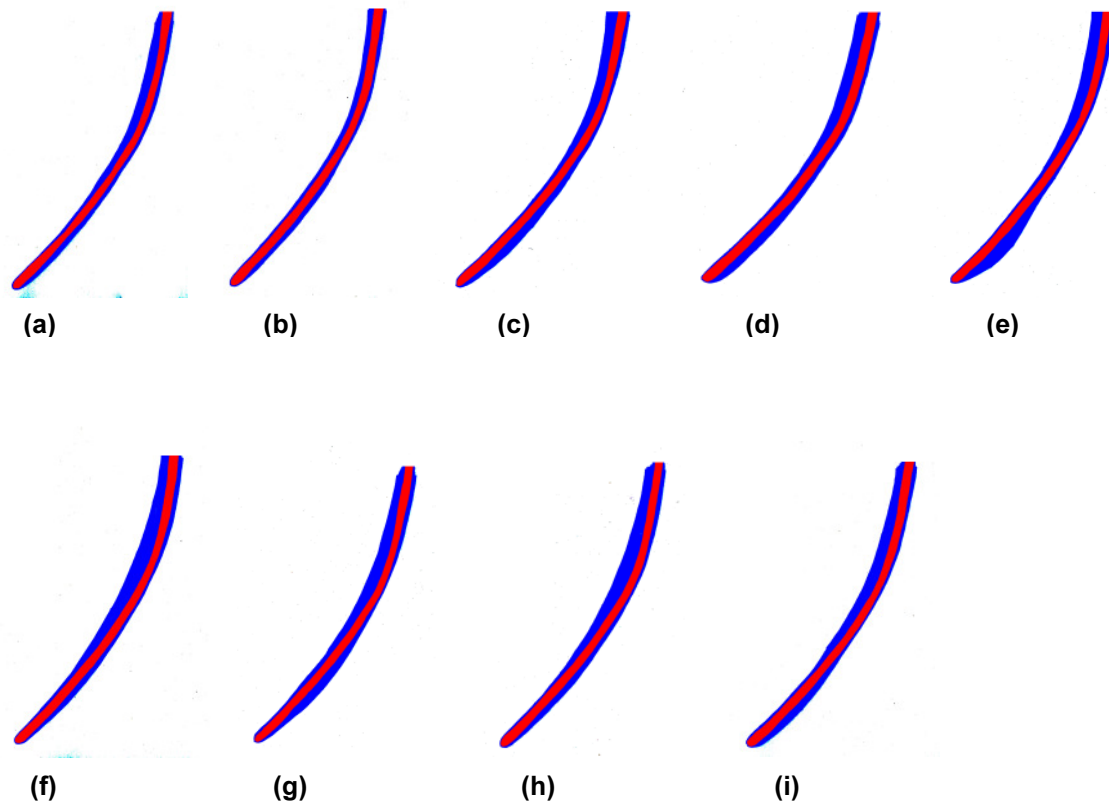


Abb. 32: Durchschnittlich aufgetretene Formveränderungen des ursprünglichen Kanalverlaufs nach Aufbereitung gekrümmter Kanäle im Kunststoffblock (rot – Originalkanal; blau – aufbereiteter Kanal)

(a) EndoStepper/ FlexMaster

(b) ENDOflash/ NiTi/ CrownDown

(c) ENDOflash/ NiTi/ StepBack

(d) ENDOflash/ Edelstahl/ CrownDown

(e) ENDOflash/ Edelstahl/ StepBack

(f) Hand/ Flexoreamer/CrownDown

(g) Hand/ Flexoreamer/ StepBack

(h) Hand/ Flexofile/ CrownDown

(i) Hand/ Flexofile/ StepBack

7.1.3.3 Nichterweiterte Bereiche

Betrachtet man die in Tabelle 7 aufgeführten nichterweiterten Bereiche, so erkennt man, dass es bei allen Aufbereitungskombinationen an der Innenkurvatur am häufigsten im apikalen Drittel an den Messpunkten 1 bis 4 und an der Außenkurvatur im mittleren Drittel (Messpunkte 7 – 9) zu keinem messbaren Materialabtrag kam. Dabei kam es z.B. bei der Anwendung von Hand/ *Flexoreamer*[®]/CrownDown und Hand/ *Flexofile*[®]/CrownDown bereits ab Mp 4 in jedem Fall zu einer messbaren Erweiterung an der Innenkurvatur, bei der Aufbereitung mit *EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®] konnte erst ab Mp 7 an allen Kanälen ein Materialabtrag an der Innenkurvatur gemessen werden.

Tabelle 7 gibt an, in wie vielen Fällen es bei den entsprechenden Aufbereitungskombinationen zu keiner messbaren Erweiterung kam. Der Wert „0“ bedeutet, dass in allen Kanälen, die mit dem gleichen System, Feilen und Technik aufbereitet wurden, Material an dem jeweiligen Messpunkt abgetragen wurde. Dagegen steht z.B. der Wert „5“ an Mp 2 der Innenkurvatur bei der Aufbereitung mit Hand/*Flexoreamer*[®]/StepBack für eine nichtmessbare Erweiterung in fünf Fällen.

Tab. 7: Anzahl der nichterweiterten Bereiche an den jeweiligen Messpunkten unter jeweils 10 Prüfkörpern (Wurzelkanal im Kunststoffblock)
 „0“ - in jedem Fall erfolgte eine messbare Erweiterung
 „Zahl“ - Anzahl der nicht messbar erweiterten Kanäle

Messpunkt		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Innenkurvatur	<u>FlexMaster/ EndoStepper</u>	10	7	6	5	3	1	0	0	0	0	0	0
	<u>ENDOfash/ NiTi/ CrownDown</u>	3	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	<u>ENDOfash/ NiTi/ StepBack</u>	7	5	5	2	1	0	0	0	0	0	0	1
	<u>ENDOfash/Edelstahl/CrownDown</u>	6	6	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	<u>ENDOfash/Edelstahl/StepBack</u>	5	5	5	5	1	0	0	0	0	0	0	0
	<u>Hand/ FlexoReamer/ CrownDown</u>	9	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<u>Hand/ FlexoReamer/ StepBack</u>	6	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	<u>Hand/ Flexofile/ CrownDown</u>	6	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<u>Hand/ Flexofile/ StepBack</u>	5	5	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Aussenkurvatur	<u>FlexMaster/ EndoStepper</u>	1	1	1	0	0	0	1	2	3	2	1	2
	<u>ENDOfash/ NiTi/ CrownDown</u>	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	<u>ENDOfash/ NiTi/ StepBack</u>	0	0	0	0	0	0	1	3	3	0	0	0
	<u>ENDOfash/Edelstahl/CrownDown</u>	0	0	0	0	0	0	2	2	2	1	0	0
	<u>ENDOfash/Edelstahl/StepBack</u>	0	0	0	0	1	2	4	4	4	2	0	0
	<u>Hand/ FlexoReamer/ CrownDown</u>	1	1	1	0	0	1	2	3	1	0	0	0
	<u>Hand/ FlexoReamer/ StepBack</u>	0	0	0	0	0	0	2	5	3	0	0	0
	<u>Hand/ Flexofile/ CrownDown</u>	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	1	0
	<u>Hand/ Flexofile/ StepBack</u>	0	0	0	0	0	0	2	4	5	2	0	0

7.1.4 Arbeitssicherheit

Bei der Aufbereitung der Kanäle im Kunststoffblock kam es zu einer Instrumentenfraktur der ISO- Größe 20 bei der Verwendung von *ENDOflash*[®]/NiTi/StepBack, bei allen anderen Anwendungen trat kein Instrumentenbruch auf.

7.2 Aufbereitung von Wurzelkanälen extrahierter Zähne

7.2.1 Verkürzung der Arbeitslänge

Bei der Aufbereitung der Wurzelkanäle extrahierter Zähne kam es zur größten durchschnittlichen Arbeitslängenverkürzung von 0,563 mm bei der Verwendung von *ENDOflash*[®]/Edelstahl/CrownDown, im Schnitt der geringste Arbeitslängenverlust trat mit 0,219 mm bei der Aufbereitung mit *EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®] auf. Alle anderen Durchschnittswerte lagen zwischen diesem mittleren Minimal- und Maximalwert und können aus Tabelle 8 entnommen werden.

Ebenfalls in Tabelle 8 aufgeführt ist die Verteilung der einzelnen Werte der Arbeitslängenverkürzung und die Standardabweichung für die einzelnen Kombinationen zur Aufbereitung.

So kam es in einem Fall bei der Anwendung von Hand/*Flexofile*[®]/StepBack, in je zwei Fällen bei der Verwendung von *EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®], *ENDOflash*[®]/NiTi/StepBack, *ENDOflash*[®]/Edelstahl/StepBack, Hand/*Flexoreamer*[®]/CrownDown, ~/StepBack und Hand/*Flexofile*[®]/CrownDown sowie dreimal bei der Aufbereitung mit *ENDOflash*[®]/NiTi/CrownDown zu keiner Verkürzung der Arbeitslänge. Die Maximalwerte lagen bei der Verwendung von *EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®] einmal, bei Hand/*Flexofile*[®]/CrownDown dreimal bei 0,5 mm. Die Aufbereitung mit *ENDOflash*[®]/NiTi/CrownDown, *ENDOflash*[®]/Edelstahl/StepBack, Hand/*Flexoreamer*[®]/CrownDown, ~/StepBack und Hand/*Flexofile*[®]/StepBack führte in jeweils einem Fall zu einer maximalen Verkürzung von 0,75 mm und in je einem Fall lag dieses Maximum bei der Kombination *ENDOflash*[®]/NiTi/StepBack und *ENDOflash*[®]/Edelstahl/CrownDown bei 1 mm.

Tab. 8: Arbeitslängenverkürzung nach Aufbereitung der Wurzelkanäle extrahierter Zähne

Arbeitslängenverkürzung	0,00 mm	0,25 mm	0,50 mm	0,75 mm	1,00 mm	Ø
<u>EndoStepper/ FlexMaster</u>	2	5	1	0	0	0,219 (±0,16)
<u>ENDOfash/ NiTi/ CrownDown</u>	3	3	2	1	0	0,278 (±0,26)
<u>ENDOfash/ NiTi/ StepBack</u>	2	2	2	1	1	0,406 (±0,35)
<u>ENDOfash/Edelstahl/ CrownDown</u>	0	2	3	2	1	0,563 (±0,26)
<u>ENDOfash/Edelstahl/ StepBack</u>	2	2	3	1	0	0,344 (±0,27)
<u>Hand/ Flexoreamer/ CrownDown</u>	2	3	2	1	0	0,313 (±0,26)
<u>Hand/ Flexoreamer/ StepBack</u>	2	4	1	1	0	0,281 (±0,25)
<u>Hand/ Flexofile/ CrownDown</u>	2	4	3	0	0	0,278 (±0,20)
<u>Hand/ Flexofile/ StepBack</u>	1	4	3	1	0	0,361 (±0,22)

Die statistische Auswertung ergab keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$).

7.2.2 Aufbereitungszeit

Die geringste durchschnittliche Aufbereitungszeit betrug bei der Aufbereitung der Wurzelkanäle extrahierter Zähne 413 s, das entspricht 6 min 53 s und wurde bei der Anwendung von *ENDOfash*®/Edelstahl/CrownDown gemessen. Die längste Zeit zur Aufbereitung im Mittel ergab sich mit 1137 s, das entspricht 18 min 57 s, bei der Verwendung von Hand/*Flexofile*®/StepBack. Alle anderen ermittelten Durchschnittswerte lagen zwischen diesen beiden Mittelwerten und sind im Folgenden einzeln aufgeführt. In Klammern ist die Standardabweichung ablesbar.

1. *EndoStepper*®/*FlexMaster*®:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 468 s = 7 min 48 s (± 163 s)
- Minimalwert: 227 s = 3 min 47 s
- Maximalwert: 689 s = 11 min 29 s

2. *KaVo ENDOfash*®/NiTi/CrownDown:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 426 s = 7 min 06 s (± 203 s)
- Minimalwert: 256 s = 4 min 16 s
- Maximalwert: 928 s = 15 min 28 s

3. KaVo *ENDOf*lash®/NiTi/StepBack:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 453 s = 7 min 33 s (± 97 s)
- Minimalwert: 323 s = 5 min 23 s
- Maximalwert: 575 s = 9 min 35 s

4. KaVo *ENDOf*lash®/Edelstahl/CrownDown:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 413 s = 6 min 53 s (± 74 s)
- Minimalwert: 321 s = 5 min 21 s
- Maximalwert: 519 s = 8 min 39 s

5. KaVo *ENDOf*lash®/Edelstahl/StepBack:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 455 s = 7 min 35 s (± 140 s)
- Minimalwert: 295 s = 4 min 55 s
- Maximalwert: 687 s = 11 min 27 s

6. Hand/*Flexoreamer*®/CrownDown:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 547 s = 9 min 07 s (± 147 s)
- Minimalwert: 330 s = 5 min 30 s
- Maximalwert: 823 s = 13 min 43 s

7. Hand/*Flexoreamer*®/StepBack:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 532 s = 8 min 52 s (± 121 s)
- Minimalwert: 320 s = 5 min 20 s
- Maximalwert: 751 s = 12 min 31 s

8. Hand/*Flexofile*®/CrownDown:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 582 s = 9 min 42 s (± 247 s)
- Minimalwert: 333 s = 5 min 33 s
- Maximalwert: 1142 s = 19 min 02 s

9. Hand/*Flexofile*®/StepBack:

- Mittelwert Aufbereitungszeit: 1137 s = 18 min 57 s (± 539 s)
- Minimalwert: 553 s = 9 min 13 s
- Maximalwert: 2002 s = 33 min 22 s

Die Aufbereitungszeiten im Einzelnen lagen zwischen diesen Minimal- und Maximalwerten und sind in Tabelle 30 im Anhang aufgeführt.

Die folgende Abbildung stellt die mittleren Aufbereitungszeiten graphisch dar.

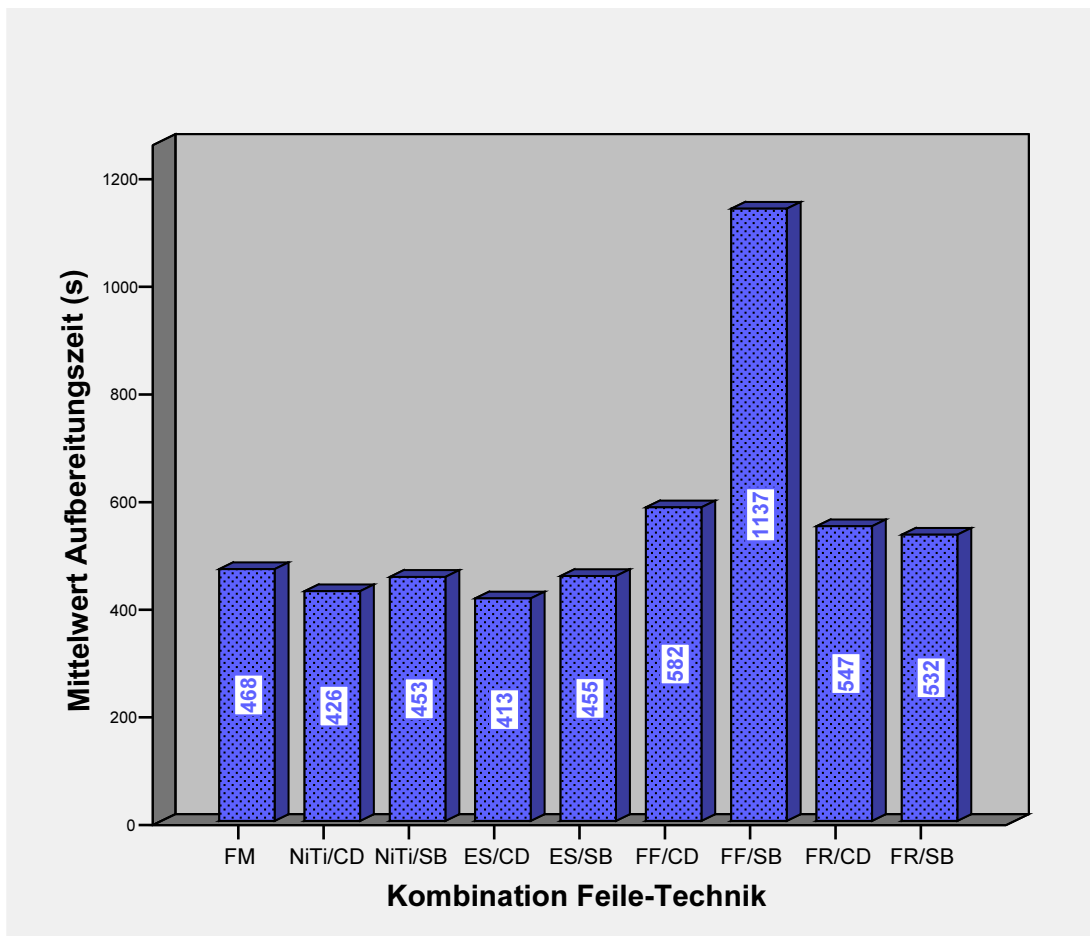


Abb. 33: Graphische Darstellung der ermittelten Durchschnittswerte der Aufbereitungszeit für die Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle extrahierter Zähne (die Bedeutung der Abkürzungen ist dem Kapitel „1 Abkürzungsverzeichnis“ zu entnehmen)

Die Aufbereitung extrahierter Zähne dauerte mit der Kombination Hand/*Flexofile*[®]/StepBack gegenüber der maschinellen Aufbereitung und im Vergleich zu Hand/*Flexoreamer*[®]/StepBack signifikant länger. Zwischen allen anderen Instrumenten bestand kein signifikanter Unterschied.

In Abbildung 34 ist in einem einfachen Boxplotdiagramm die empirische Häufigkeitsverteilung der Aufbereitungszeit gekrümmter Wurzelkanäle extrahierter Zähne ablesbar.

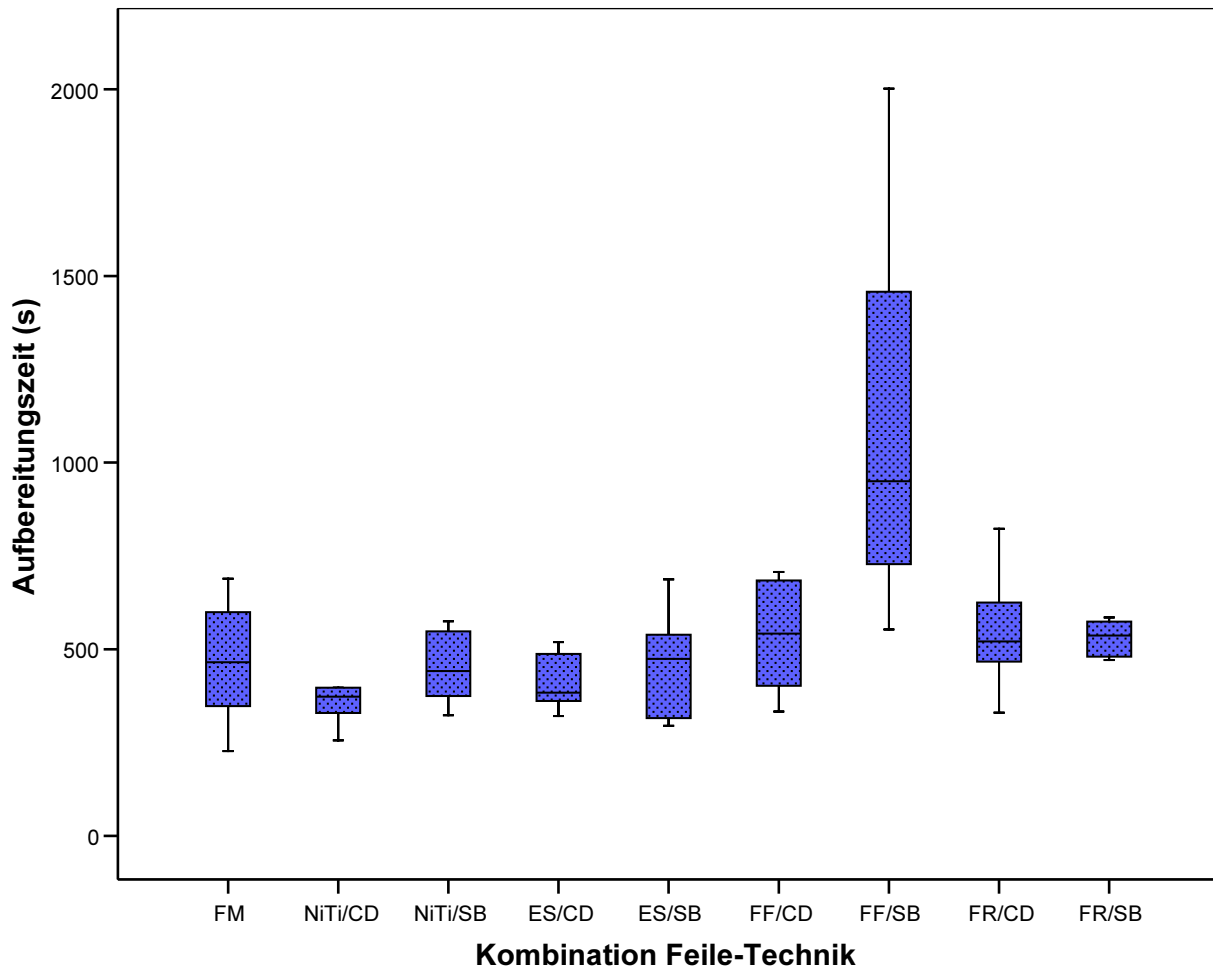


Abb. 34: Einfacher Boxplot für die Aufbereitungszeit; (die Bedeutung der Abkürzungen ist dem Kapitel „1 Abkürzungsverzeichnis“ zu entnehmen)

7.2.3 Veränderung der Kanalform

7.2.3.1 Krümmungswinkel

Vor der Aufbereitung lagen alle Krümmungswinkel im Schnitt zwischen $45,6^\circ$ (*EndoStepper®/FlexMaster®*) und $59,9^\circ$ (*ENDOfash®/Edelstahl/StepBack*). Nach *Schneider* (1971) gehören damit diese Winkel in die Kategorie „stark gekrümmte Kanäle“ mit einer Krümmung $>25^\circ$ (Grad 3). Im Einzelfall werden diese 25° zweimal unterschritten und mit 20° bzw. 21° zu den mittelmäßig gekrümmten Kanälen nach *Schneider* gezählt (Grad 2).

Die Krümmungswinkel vor und nach Aufbereitung sowie der jeweilige Mittelwert und die Standardabweichung sind im Einzelnen in Tabelle 9 dargestellt.

Tab. 9: Kanalkrümmung vor und nach der Aufbereitung, Mittelwert, Standardabweichung (St.-abw.)

FlexMaster/ EndoStepper			ENDOfash/ NiTi/ CrownDown			ENDOfash/ NiTi/ StepBack			ENDOfash/ Edelstahl/ CrownDown			ENDOfash/ Edelstahl/ StepBack		
FM	vor	nach	K	vor	nach	K	vor	nach	K	vor	nach	K	vor	nach
I	37°	36°	IV	46°	39°	I	55°	51°	XIV	74°	64°	III	69°	68°
III	65°	63°	VII	87°	86°	IX	38°	37°	XVI	35°	33°	V	88°	86°
IV	52°	45°	XIII	63°	62°	XI	73°	68°	XVIII	45°	43°	VIII	63°	62°
V	44°	42°	XXV	50°	37°	XIX	30°	30°	XXXV	27°	22°	XXX	56°	48°
VI	40°	37°	XXVI	31°	30°	XX	54°	36°	XXXVI	60°	56°	XXXI	66°	62°
VII	41°	38°	XXVII	72°	64°	XXII	66°	55°	XXXVIII	67°	62°	XXXII	20°	19°
XIII	46°	44°	XXVIII	41°	40°	XXIII	57°	54°	IXL	38°	31°	XXXIII	78°	69°
Res D	40°	39°	Res B	28°	24°	XXIV	61°	58°	Res A	61°	54°	XXXIV	39°	32°
			Res D	41°	38°									
Mittelwert	45,6°	43°	=	51°	46,7°	=	54,3°	48,6°	=	50,9°	45,6°	=	59,9°	55,8°
St.-abw.	1,9°		=	4,2°		=	6°		=	2,7°		=	3,4°	

Hand/ Flexoreamer/ CrownDown			Hand/ Flexoreamer/ StepBack			Hand/ Flexofile/ StepBack			Hand/ Flexofile/ CrownDown		
H	vor	nach	H	vor	nach	H	vor	nach	H	vor	nach
XXIX	70°	66°	XXI	46°	44°	I	29°	22°	X	71°	70°
XXX	28°	21°	XXII	66°	51°	II	42°	33°	XI	47°	31°
XXXI	58°	47°	XXIII	36°	36°	III	46°	39°	XII	21°	19°
XXXIII	42°	33°	XXIV	61°	42°	IV	48°	42°	XIII	40°	32°
XXXIV	77°	66°	XXV	45°	40°	V	58°	46°	XIV	60°	46°
XXXV	45°	41°	XXVII	36°	33°	VI	89°	75°	XV	61°	44°
XXXVI	46°	39°	XX	49°	45°	VII	50°	31°	XVI	52°	35°
XXVIII	60°	54°	XXVI	55°	48°	VIII	57°	39°	XVII	59°	51°
						IX	89°	87°	XVIII	55°	53°
Mittelwert	53,3°	45,9°	=	49,3°	42,4°	=	56,4°	46°	=	51,8°	42,3°
St.-abw.	2,8°		=	6,7°		=	5,7°		=	6,7°	

In allen Fällen war der durchschnittliche Krümmungswinkel nach der Aufbereitung kleiner als vorher.

Im Einzelnen verkleinerte sich der Winkel im Durchschnitt um 2,6° unter Verwendung von *EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®], um 4,3° bei der Anwendung von *ENDOfash*[®]/NiTi/CrownDown und um 5,7° mit der gleichen Kombination in Verbindung mit der Step-Back-Technik. Bei der Aufbereitung mit *ENDOfash*[®]/Edelstahl und der Crown-Down-Methode verringerte sich der Winkel im Schnitt um 5,3°, unter der Step-Back-Methode um 4,1°. Die Handaufbereitung führte bei Anwendung der *Flexoreamer*[®] mit CrownDown zu 7,4°, mit StepBack zu 6,9° Verkleinerung und die Kombinationen *Flexofile*[®]/CrownDown bzw. *Flexofile*[®]/StepBack verringerten den Winkel um 10,4° bzw. 9,5°.

In lediglich zwei Fällen kam es zu einem unveränderten Krümmungswinkel nach der Aufbereitung – je einmal bei der Anwendung von *ENDOfash*[®]/NiTi/StepBack

(Ausgangswinkel 30°) und von Hand/ *Flexoreamer*[®]/StepBack (Ausgangswinkel 36°).

Die größten Einzelmessungen der Verringerung des Krümmungswinkels lagen bei der Aufbereitung mit *EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®] bei 7°, unter Verwendung von *ENDOfash*[®]/NiTi/ CrownDown bei 13° und ~/StepBack bei 18°. Die Anwendung des *ENDOfash*[®] mit Edelstahlfeilen und der Crown-Down-Technik ergab eine maximale Verkleinerung von 10° und bei der Step-Back-Technik von 9°. Die Handaufbereitung führte in je einem Fall zu einer größten Verkleinerung um 19° bei der Kombination *Flexoreamer*[®]/StepBack und *Flexofile*[®]/CrownDown, die Verwendung von *Flexoreamer*[®]/CrownDown verringerte den Krümmungswinkel maximal um 11°, die Aufbereitung mit *Flexofile*[®]/ StepBack um 17°.

Die mittleren Verringerungen der Krümmungswinkel in den einzelnen Kombinationen bei der Präparation gekrümmter Kanäle extrahierter Zähne sind in Abbildung 35 dargestellt.

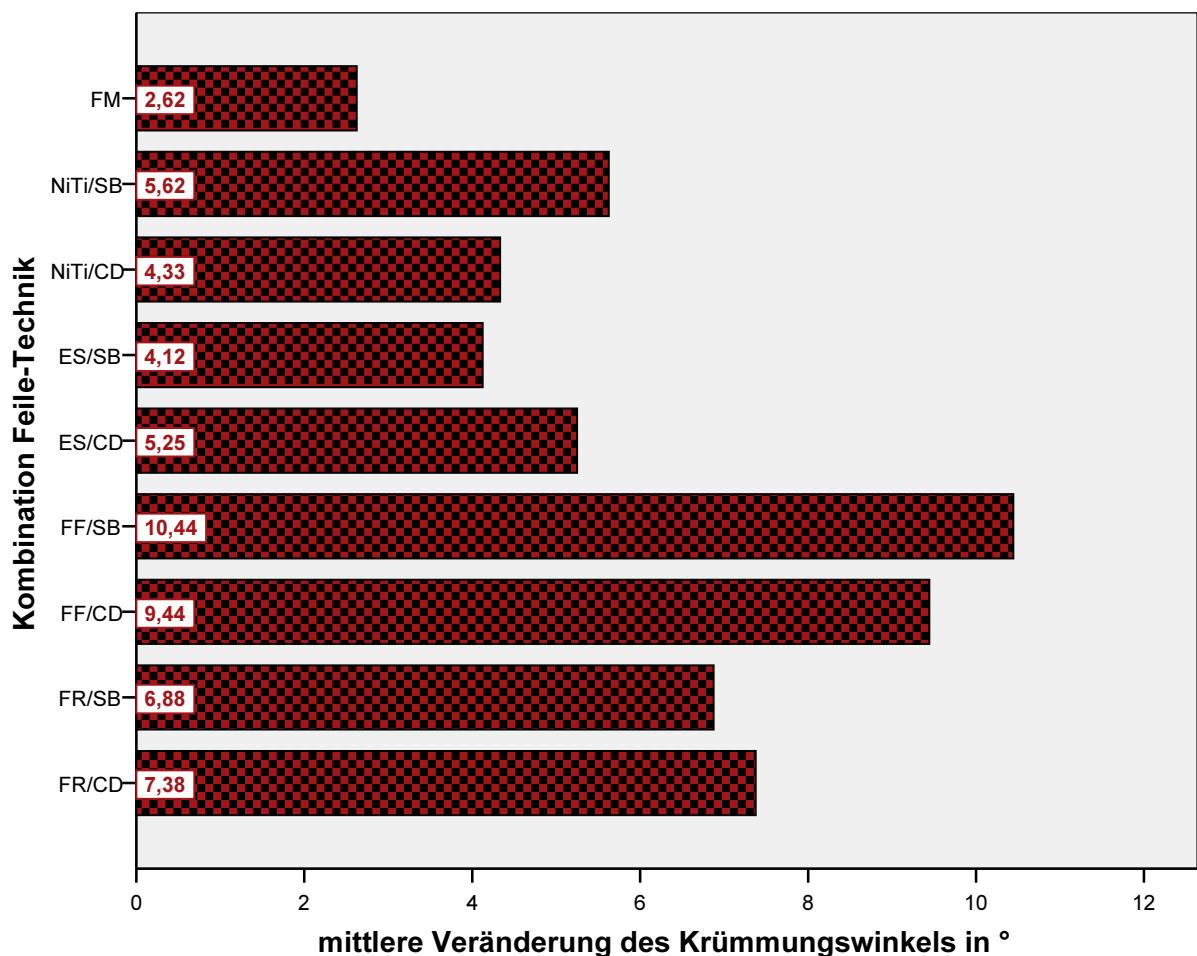


Abb. 35: Graphische Darstellung der Begradigung gekrümmter Kanäle extrahierter Zähne; (die Bedeutung der Abkürzungen ist dem Kapitel „1 Abkürzungsverzeichnis“ zu entnehmen)

Statistisch gesehen resultierte bei der Aufbereitung mit Hand/*Flexofiles*[®] unabhängig von der Methode im Vergleich zu den Varianten der maschinellen Aufbereitung eine signifikant größere Veränderung des Krümmungswinkels ($p < 0,05$).

7.2.3.2 Materialabtrag an Innen- und Außenkrümmung

Für jeden Wurzelkanal wurde die Abweichung des aufbereiteten Kanals zum Originalkanal ausgemessen und in mm angegeben.

Die Tabellen 20 - 28 im Anhang zeigen die ermittelten Werte getrennt nach Innen- und Außenkrümmung an den jeweiligen Messpunkten für die verwendeten Kombinationen zur Aufbereitung. Dabei entspricht Messpunkt 1 (Mp 1) einer Entfernung von 1 mm zum Apex, Mp 2 liegt 2 mm vom Apex entfernt, usw.

Zum besseren Verständnis und zur Vergleichbarkeit wurden aus den Einzelwerten für die jeweilige Aufbereitungskombination Mittelwerte für jeden einzelnen Messpunkt ermittelt und der gemessene Minimal- und Maximalwert angegeben.

An der Innenkrümmung kam es im Schnitt an jedem Messpunkt bei allen Aufbereitungskombinationen im apikalen Drittel zu einer Erweiterung.

Im Einzelnen zeigte sich an Messpunkt 1 in vier Fällen bei *ENDOfash*[®]/Edelstahl/StepBack, in drei Fällen bei *ENDOfash*[®]/NiTi/StepBack, je zweimal unter Verwendung von Hand/*Flexoreamer*[®]/CrownDown und Hand/*Flexofile*[®]/StepBack sowie in einem Fall bei der Aufbereitung mit Hand/*Flexofile*[®]/CrownDown kein messbarer Materialabtrag, an jeweils einem Wurzelkanal konnte bei der Anwendung von *ENDOfash*[®]/Edelstahl/StepBack, *ENDOfash*[®]/NiTi/StepBack und Hand/*Flexoreamer*[®]/CrownDown an Messpunkt 2 und einmal an Messpunkt 3 bei der Kombination Hand/*Flexoreamer*[®]/CrownDown keine Erweiterung festgestellt werden.

Zum jeweils größten Materialabtrag kam es an der Innenkrümmung am Übergang vom koronalen zum mittleren Drittel (Messpunkte 2 – 4) bei der Handaufbereitung mit *Flexoreamer*[®] und mit *Flexofile*[®]/CrownDown, bei allen anderen Kombinationen im mittleren Drittel an den Messpunkten 3 – 5. Die geringste Erweiterung erfolgte im Durchschnitt bei allen Aufbereitungstechniken an den Messpunkten 1 und 8/9 (das entspricht den jeweils am weitesten apikal bzw. koronal gelegenen Messpunkten).

Auch an der Außenkurvatur kam es im Durchschnitt an allen Messpunkten zu einer Erweiterung bei allen Aufbereitungstechniken. Dabei lag der geringste Materialabtrag an den Messpunkten 4 – 6 bei der Aufbereitung mit *EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®], *ENDOf*lash[®]/NiTi/StepBack und *ENDOf*lash[®]/Edelstahl/CrownDown, an den Messpunkten 3 bis 5 unter der Anwendung von *ENDOf*lash[®]/NiTi/CrownDown und Hand/*Flexoreamer*[®]/CrownDown und bei allen anderen Aufbereitungskombinationen an den Messpunkten 2 – 4.

Die größte durchschnittliche Erweiterung ergab sich jeweils an den beiden am weitesten koronal gelegenen Messpunkten an der Außenkurvatur mit Ausnahme der Aufbereitung mit *ENDOf*lash[®]/Edelstahl/CrownDown und Hand/*Flexoreamer*[®]/CrownDown, die auch an Messpunkt 1 einen großen Wert aufweisen konnten.

Betrachtet man den gesamten mittleren Materialabtrag an der Innenkurvatur, so zeigt sich ein signifikant höherer Abtrag mit Hand/*Flexofiles*[®] gegenüber der Aufbereitung mit *EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®] ($p=0,048$). An der Außenkurvatur ergibt sich eine Signifikanz der Hand/*Flexofiles*[®] im Vergleich zu den *ENDOf*lash[®]/NiTi-Feilen ($p=0,008$).

Auch bei der Betrachtung der einzelnen Messpunkte der Innenkurvatur tragen die *Flexofiles*[®] an Mp 2-4 signifikant mehr Material ab als *ENDOf*lash[®]/NiTi/StepBack ($p=0,043$ für Mp 2; $p=0,002$ für Mp 3+4) und am Mp 3 auch gegenüber *EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®] ($p=0,017$). Diese Punkte entsprechen auch hier dem mittleren Drittel der Innenkurvatur.

An der Außenkurvatur finden sich signifikante Unterschiede an den Messpunkten 2+3 (apikales Drittel) und 7-9 (koronales Drittel). Im Einzelnen trägt *EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®] am Mp 2 signifikant mehr Material ab als *ENDOf*lash[®]/NiTi, *ENDOf*lash[®]/Edelstahl und als Hand/*Flexoreamer*[®] mit der Step-Back-Technik, an Mp 3 zeigt *EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®] einen signifikant höheren Materialabtrag als alle anderen Instrumente in Verbindung mit der Step-Back-Technik und als *ENDOf*lash[®]/NiTi und Hand/*Flexoreamer*[®] unter Anwendung der Crown-Down-Methode. An den Messpunkten 7 – 9 wird mit Hand/*Flexofiles*[®] signifikant mehr Material gegenüber der Verwendung von *ENDOf*lash[®]/NiTi/CrownDown abgetragen ($p=0,025$ für Mp 7; $p=0,012$ für Mp 8; $p=0,014$ für Mp 9). Abbildung 36 zeigt die aufbereiteten Kanäle im Vergleich zum ursprünglichen Kanal anhand der errechneten Mittelwerte.

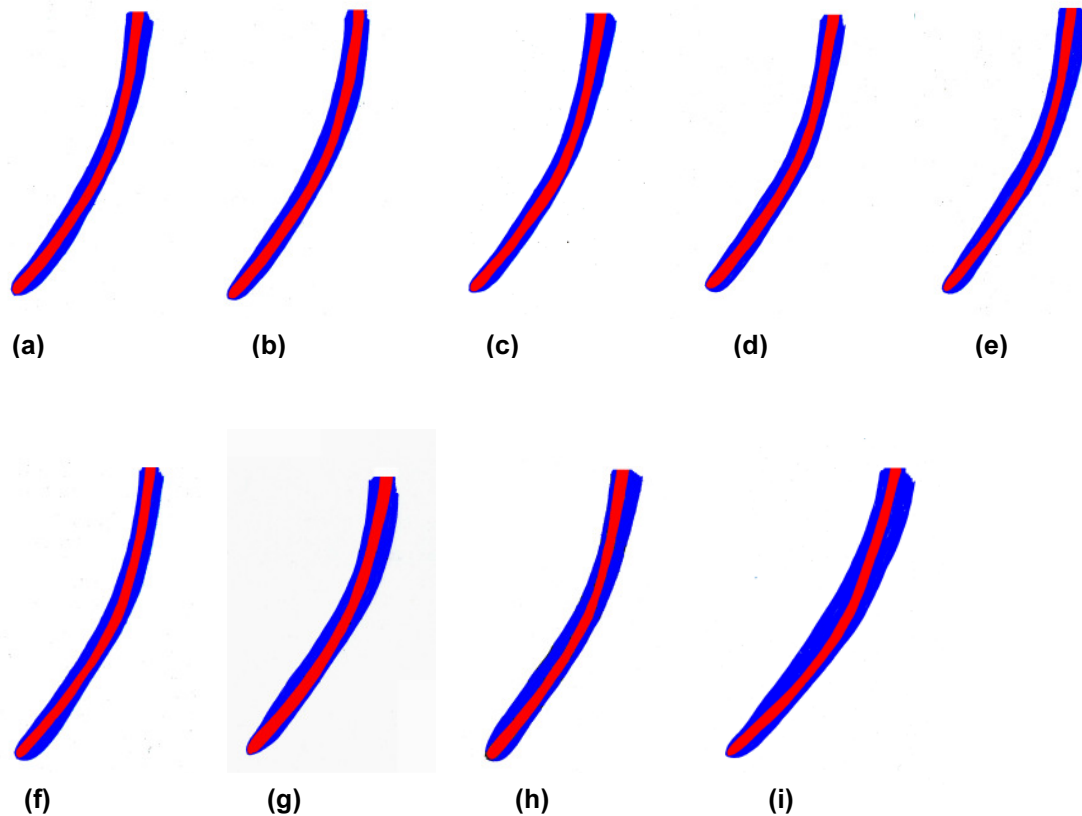


Abb. 36: Durchschnittlich aufgetretene Formveränderungen des ursprünglichen Kanalverlaufs nach Aufbereitung extrahierter Zähne (rot – Originalkanal; blau – aufbereiteter Kanal)

- | | |
|------------------------------------|---------------------------|
| (a) EndoStepper/ FlexMaster | (f) Flexoreamer/CrownDown |
| (b) ENDOfash/ NiTi/ CrownDown | (g) Flexoreamer/ StepBack |
| (c) ENDOfash/ NiTi/ StepBack | (h) Flexofile/ CrownDown |
| (d) ENDOfash/ Edelstahl/ CrownDown | (i) Flexofile/ StepBack |
| (e) ENDOfash/ Edelstahl/ StepBack | |

7.2.3.3 Nichterweiterte Bereiche

In Tabelle 10 sind die Anzahl der Fälle aufgeführt, in denen es bei den entsprechenden Aufbereitungskombinationen zu keinem messbaren Materialabtrag kam. Der Wert „0“ bedeutet, dass in allen Kanälen, die mit dem gleichen System, Feilen und Technik aufbereitet wurden, eine Erweiterung an dem jeweiligen Messpunkt festgestellt wurde. Dagegen steht z.B. der Wert „4“ an Mp 1 der Innenkurvatur bei der Aufbereitung mit *ENDOfash*[®]/Edelstahl/StepBack für eine nichtmessbare Erweiterung in vier Fällen.

Tab. 10: Anzahl der nichterweiterten Bereiche an den jeweiligen Messpunkten unter jeweils 8 Prüfkörpern (extrahierte Zähne)

„0“ - in jedem Fall erfolgte eine messbare Erweiterung

„Zahl“ - Anzahl der nicht messbar erweiterten Kanäle

Messpunkt		01	02	03	04	05	06	07	08	09
Innenkurvatur	<u>FlexMaster/ EndoStepper</u>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<u>ENDOflesh/ NiTi/ CrownDown</u>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<u>ENDOflesh/ NiTi/ StepBack</u>	3	1	0	0	0	0	0	0	0
	<u>ENDOflesh/Edelstahl/CrownDown</u>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<u>ENDOflesh/Edelstahl/StepBack</u>	4	1	0	0	0	0	0	0	0
	<u>Hand/ FlexoReamer/ CrownDown</u>	2	1	1	0	0	0	0	0	0
	<u>Hand/ FlexoReamer/ StepBack</u>	1	0	0	0	0	0	0	0	
	<u>Hand/ Flexofile/ CrownDown</u>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	<u>Hand/ Flexofile/ StepBack</u>	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Außenkurvatur	<u>FlexMaster/ EndoStepper</u>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<u>ENDOflesh/ NiTi/ CrownDown</u>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<u>ENDOflesh/ NiTi/ StepBack</u>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	<u>ENDOflesh/Edelstahl/CrownDown</u>	0	1	0	1	1	0	0	0	0
	<u>ENDOflesh/Edelstahl/StepBack</u>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	<u>Hand/ FlexoReamer/ CrownDown</u>	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	<u>Hand/ FlexoReamer/ StepBack</u>	0	0	0	1	0	0	0	0	
	<u>Hand/ Flexofile/ CrownDown</u>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	<u>Hand/ Flexofile/ StepBack</u>	0	1	1	1	1	0	0	0	0

Zu erkennen ist, dass an der Innenkurvatur am häufigsten an Messpunkt 1, in insgesamt 3 Fällen an Messpunkt 2 und einmal an Messpunkt 3 keine Erweiterung festzustellen war. Bei der Aufbereitung mit *EndoStepper*[®]/*FlexMaster*[®], *Hand/ Flexoreamer*[®]/*CrownDown* und *ENDOflesh*[®]/*NiTi/CrownDown* wurde in jedem Fall an der Innenkurvatur Material abgetragen. An der Außenkurvatur kam es in fast allen Fällen zu einer messbaren Erweiterung.

7.2.4 Arbeitssicherheit

Die Aufbereitung der extrahierten Zähne führte in insgesamt acht Fällen zu einer Fraktur der Instrumente – zweimal bei der Anwendung von Hand/*Flexoreamer*[®]/StepBack, jeweils ISO 20, dreimal bei Hand/*Flexofile*[®]/StepBack (zweimal ISO 15, einmal ISO 20), bei der Aufbereitung mit *ENDOfash*[®]/Edelstahl/CrownDown kam es in einem Fall bei ISO 20 und bei *ENDOfash*[®]/Edelstahl/StepBack zweimal (ISO 15 und ISO 20) zum Bruch der Instrumente.

7.2.5 Auffälligkeiten bei der Aufbereitung

Bei der Verwendung des *KaVo ENDOfash*[®] konnte beobachtet werden, dass bei Verwendung höherer Drehzahlen, die aber noch unter der empfohlenen Maximaldrehzahl von 10 000 min⁻¹ lagen, es trotzdem zu einem Festrotieren der Feilen (sowohl Edelstahl als auch Nickel-Titan) im Kanal kam und die Instrumente nur sehr schwer wieder gelockert werden konnten.

Die Anwendung der Nickel-Titan-Feilen führte in mehreren Fällen trotz kraftlosen Einführens in den Kanal zu einem Verbiegen bei Widerstand, so dass eine Rotation nicht mehr möglich war.

8 Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurde die Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle durch verschiedene maschinelle Systeme mit Drehmomentbegrenzung und mit Handinstrumenten anhand folgender Kriterien untersucht und miteinander verglichen:

- Veränderung der Arbeitslänge,
- Aufbereitungszeit,
- Krümmungswinkel vor und nach Aufbereitung,
- Materialabtrag und nichterweiterte Bereiche,
- Arbeitssicherheit.

Die erste Versuchsreihe beinhaltete die maschinelle Aufbereitung vorgefertigter Kanäle im Kunststoffblock mit dem *EndoStepper*[®] der Firma VDW und *FlexMaster*[®]-Feilen, dem *KaVo ENDOfash*[®] mit Feilen aus Nickel-Titan und Edelstahl und die Handaufbereitung mit *Flexoreamern*[®] und *K-Flexofiles*[®]. Sowohl bei den Hand- als auch den *ENDOfash*[®]-Feilen kamen die Step-Back- und die Crown-Down-Technik zur Anwendung. Die jeweiligen Kombinationen Feile-Technik wurden miteinander verglichen.

Die gleichen Untersuchungen wurden in einer zweiten Versuchsreihe an extrahierten menschlichen Zähnen durchgeführt.

Es erwies sich als sinnvoll, Wurzelkanäle im Kunststoffblock und die Kanäle extrahierter Zähne in zwei getrennten Versuchsreihen zu untersuchen, da Kunststoff, wie bereits in Punkt 6.1.1 erläutert, sich zwar für standardisierte Untersuchungen sehr gut eignet, aber nur eine idealisierte Variante darstellt.

8.1 Arbeitslänge

Die zu Beginn der Wurzelkanalaufbereitung festgelegte Arbeitslänge sollte während der gesamten Behandlung beibehalten und auch mit dem abschließenden Instrument erreicht werden. Nur so werden die benötigte

Reinigungswirkung und der Materialabtrag auf der gesamten Länge des Kanals bis zum Foramen physiologicum erzielt.

Vorausgegangene Studien belegen, dass die Aufbereitung mit *FlexMaster*[®]-Feilen zu geringem bis keinem Verlust an Arbeitslänge führt.

So fanden *Hülsmann et al.* (2003) und *Guelzow et al.* (2005) bei der Aufbereitung gekrümmter Kanäle extrahierter Zähne in keinem Fall eine Verkürzung der Arbeitslänge.

In einem Fall kam es in den Untersuchungen an extrahierten Zähnen von *Weiger et al.* (2003) zu einem Arbeitslängenverlust von 0,5 mm bei der Kanalaufbereitung mit *FlexMaster*[®]-Feilen. *Schäfer et al.* (2005) erhielten bei der Aufbereitung extrahierter Zähne eine durchschnittliche Arbeitslängenverkürzung von 0,17 bis 0,22 mm, abhängig vom Antrieb.

Bei der Aufbereitung vorgefertigter Kanäle im Kunststoffblock zeigten die Untersuchungen von *Schäfer und Lohmann* (2002a) eine mittlere Verkürzung der Arbeitslänge von 0,31 mm und bei *Schäfer et al.* (2005) von 0,17 mm bzw. 0,16 mm in Abhängigkeit vom maschinellen Antrieb.

Aussagen über den Verlust an Arbeitslänge bei der Anwendung von *ENDOfash*[®]-Feilen aus Edelstahl fanden sich nur bei *Perez et al.* (2005), die keine Verkürzung feststellen konnten.

Verschiedene Autoren untersuchten die *Flexoreamer*[®] und *K-Flexofiles*[®] hinsichtlich der Arbeitslängenverkürzung an Kanälen in Kunststoff. Dabei lagen die mittleren Werte beider Feilen für die Verringerung der Arbeitslänge zwischen 1,2 mm und 1,8 mm (*Schäfer et al.* 1994b; *Tepel und Hoppe* 1995; *Tepel et al.* 1995). Bei *Schäfer und Lohmann* (2002a) und *Schäfer und Florek* (2003) verkürzte sich die Aufbereitungslänge im Mittel um 0,39 mm bzw. 0,49 mm bei der Anwendung von *K-Flexofiles*[®] in Kunststoff. Die Aufbereitung von Kanälen extrahierter Zähne mit diesen Feilen durch *Schäfer und Schlingemann* (2003) ergab eine Verkürzung der Arbeitslänge von 0,10 mm im Durchschnitt.

Vergleiche der Feilen untereinander (maschinell und Handaufbereitung) ergaben bezüglich der Arbeitslängenverkürzung in keiner der vorliegenden Studien

einen signifikanten Unterschied (Schäfer und Lohmann 2002a; Schäfer und Florek 2003; Schäfer und Schlingemann 2003; Guelzow et al. 2005).

Diese Erkenntnisse decken sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit. So zeigte die Aufbereitung mit *FlexMaster*[®]-Feilen eine durchschnittliche Verringerung der Arbeitslänge von 0,18 mm im Kunststoffblock und 0,22 mm am extrahierten Zahn. Die Werte für die Aufbereitung mit den Handinstrumenten lagen im Kunststoffblock zwischen 0,25 mm und 0,33 mm, an extrahierten Zähnen zwischen 0,28 mm und 0,36 mm. Zu den mittleren Arbeitslängenverkürzungen von 0,23 mm bzw. 0,35 mm im Kunststoffblock und 0,34 mm bzw. 0,56 mm am extrahierten Zahn mit *ENDOfash*[®]-Edelstahlfeilen sowie den Ergebnissen bei der Aufbereitung mit *ENDOfash*[®]-NiTi-Feilen in den eigenen Untersuchungen konnten in der Literatur keine Vergleichsdaten gefunden werden.

Der Vergleich der einzelnen Kombinationen Feile/Technik untereinander zeigte auch in den eigenen Untersuchungen keine statistische Signifikanz.

Eine Verkürzung der Arbeitslänge kann mehrere Ursachen haben. Zum einen werden die Instrumente im Verlauf der Aufbereitung stumpf und dringen deshalb nicht mehr so weit in den Kanal ein. In der vorliegenden Arbeit konnte diese Ursache durch Benutzen der Feilen in maximal zwei Arbeitszyklen minimiert werden. Zum anderen kann abgetragenes Material in den apikalen Kanalteil gepresst und verdichtet werden, so dass die Instrumente aufgrund der Verblockung nicht tiefer in den Kanal eindringen können. Ein weiterer Grund kann die Arbeitsweise sein, mit der die Instrumente verwendet werden, weswegen die Instrumente gar nicht in der Lage sind, tiefer einzudringen, wenn die Arbeitsweise nicht auf die Feilengeometrie abgestimmt ist. Letztlich können eine Kanalbegradigung und ungenügende Kontrolle der Arbeitslänge von Seiten des Behandlers zu einer Verkürzung der Arbeitslänge führen. Es ist allerdings fraglich, inwieweit die geringen Verkürzungen der Arbeitslänge ($\leq 0,5$ mm) in der vorliegenden Arbeit eine klinische Signifikanz zeigen (Tepel 1998; Thompson und Dummer 2000).

8.2 Aufbereitungszeit

Die Einführung maschineller Antriebe in der Endodontie hatte das Ziel, die Wurzelkanalaufbereitung zu erleichtern und gegenüber der Aufbereitung von Hand zu verkürzen. Mit der Entwicklung neuer Feilensysteme – z.B. *FlexMaster*[®], *HERO 642*, *ProFiles*[®] - soll aufgrund größerer Konizitäten, die eine Anwendung nur weniger Feilen zur vollständigen Kanalpräparation vorsehen, eine weitere Zeitersparnis möglich sein.

Bei der Aufbereitung extrahierter Zähne findet sich in den Untersuchungen verschiedener Autoren Übereinstimmung darin, dass die gekrümmten Wurzelkanäle mit maschinellen Systemen teilweise signifikant schneller aufbereitet werden können als mit Handinstrumenten.

Schäfer et al. (2004)¹, *Hülsmann und Bluhm* (2004)² und *Guelzow et al.* (2005)³ bereiteten die Wurzelkanäle mit *FlexMaster*[®]-Feilen signifikant schneller auf (¹ 13.01 min; ² 1.94 min; ³ 102.9 s) als mit Handinstrumenten (¹ 18.28 min; ² 2.99 min mit Hedströmfeilen; ³ 1179.8 s mit Reamern und Hedströmfeilen).

Keine Aussage über die Signifikanz, aber eine Zeitersparnis mit *FlexMaster*[®]-Feilen gegenüber der Handaufbereitung ergab sich in den Untersuchungen von *Weiger et al.* (2003), in denen im Durchschnitt die maschinelle Aufbereitung 14 min und die Handaufbereitung 26 min in Anspruch nahm.

Auch die kurzen Aufbereitungszeiten mit *FlexMaster*[®]-Instrumenten von durchschnittlich 66 s bei *Gressmann und Hülsmann* (2001) und 71.1 s in der Studie von *Hülsmann et al.* (2003) lassen auf eine deutliche Zeitersparnis schließen, wobei bei diesen sehr kurzen Zeitintervallen von 1 – 2 Minuten die Zeiten für Spülung, Instrumentenwechsel und Justierung des Stoppers nicht mit inbegriffen sind.

Diese Beobachtungen konnten mit den eigenen Untersuchungen für die geprüften Methoden bestätigt werden. Die Aufbereitung gekrümmter Kanäle extrahierter Zähne mit dem *FlexMaster*[®]-System dauerte vom Einspannen des ersten Instrumentes bis zur abschließenden Spülung im Mittel 7 min 48 s (468 s) und ging damit schneller als die Präparation mit Handinstrumenten, die im

Durchschnitt zwischen 8 min 52 s (*Flexoreamer*[®]/ StepBack) und 18 min 57 s (*Flexofile*[®]/StepBack) dauerte. Der Vergleich zwischen *FlexMaster*[®] und *Flexofiles*[®]/StepBack ließ dabei einen signifikanten Unterschied erkennen.

Einzig *Schäfer und Lohmann* (2002b) benötigten mit *FlexMaster*[®]-Feilen (5.54 min) nur geringfügig weniger Zeit für die Präparation von Wurzelkanälen extrahierter Zähne als mit *K-Flexofiles*[®] (5.63 min) und sahen darin keine Zeitersparnis.

Zur Aufbereitung von Wurzelkanälen ex vivo mit *ENDOfash*[®]-Feilen gibt es nur wenige Untersuchungen. *Meister und Hülsmann* (2004) fanden die kürzesten mittleren Aufbereitungszeiten bei der Präparation mit NiTi-Instrumenten in Standardtechnik (55,6 s), gefolgt von NiTi-Feilen in Crown-Down-Technik (62,1s) und einer längsten Arbeitszeit von 143,4 s mit Edelstahlfeilen in Standardtechnik.

In den eigenen Untersuchungen zeigte sich eine geringfügig verlängerte Aufbereitungszeit mit NiTi-Instrumenten (426s für CrownDown, 453 s für StepBack) gegenüber der Benutzung von Edelstahlfeilen in der Crown-Down-Technik (413 s) und eine etwas schnellere Aufbereitung im Vergleich zu Edelstahl/StepBack (455 s) bei der Präparation gekrümmter Wurzelkanäle extrahierter Zähne. Es besteht jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den gemessenen Zeiten.

Die Ursache dafür könnte darin liegen, dass durch die koronale Erweiterung bei der Crown-Down-Methode ein guter Zugang zum apikalen Drittel geschaffen wird und die Feilen schneller auf volle Arbeitslänge eingeführt werden können und nur im Spitzenbereich Dentin abtragen. Im Gegensatz dazu müssen die Instrumente kleiner ISO-Größe bei der Aufbereitung in Step-Back-Technik über ihre gesamte Länge Material abtragen, was entsprechend länger dauert.

Angaben über die Bearbeitung extrahierter Zähne mit *K-Flexofiles*[®] finden sich bei *Schäfer und Zapke* (1999), die für die Aufbereitung mit der Step-Back-Technik eine durchschnittliche Zeit von 18,3 min benötigen.

Die vorliegende Arbeit bestätigt dieses Ergebnis (18 min 57 s).

Keine Angaben zur Aufbereitungszeit konnten zur Verwendung von *Flexoreamern*[®] in der Literatur gefunden werden.

Die eigenen Untersuchungen zeigen bei der Aufbereitung ex vivo mit *Flexoreamern*[®] (532 s mit StepBack; 547 s mit CrownDown) geringere Dauer gegenüber der Benutzung von *K-Flexofiles*[®] und eine längere Aufbereitungszeit im Vergleich zu den maschinellen Systemen.

Ähnliche Ergebnisse ergaben sich bei der Aufbereitung vorgefertigter Kanäle im Kunststoffblock.

Die mittlere Präparationszeit von Kunststoffblöcken mit dem FlexMaster[®]-System betrug bei *Sonntag et al.* (2005) 249 s. Bei *Markovic et al.* (2005) dauerte die Aufbereitung 4,12 min durch einen ungeübten und 2,59 min in den Händen eines geübten Zahnmediziners, wobei beide Zeiten signifikant kürzer im Vergleich zur Handaufbereitung waren. Diese Signifikanz findet sich auch bei *Schäfer und Lohmann* (2002a), die für die Aufbereitung mit *FlexMaster*[®] eine durchschnittliche Zeitdauer von 4.55 min und für die Anwendung von *K-Flexofiles*[®] 5.63 min gemessen haben.

Keine Angaben bezüglich der Aufbereitungszeit bei vorgefertigten Kanälen im Kunststoffblock fanden sich in der Literatur zur Benutzung von *ENDOfash*[®]-Feilen.

Die Aufbereitung künstlicher Kanäle mit *K-Flexofiles*[®] nahm in den Untersuchungen von *Schäfer und Florek* (2003) im Durchschnitt 13.43 min in Anspruch.

In der vorliegenden Studie zeigte sich bei der Aufbereitung von Wurzelkanälen im Kunststoffblock eine Überlegenheit der *ENDOfash*[®]-Feilen gegenüber der Handaufbereitung, wobei mit der Kombination NiTi/CrownDown (433 s) im Mittel signifikant schneller aufbereitet werden kann als mit dem *FlexMaster*[®]-System (784 s) und mit Handinstrumenten (zwischen 737 s und 830 s). Auch die

Edelstahlfeilen benötigen signifikant weniger Zeit zur Aufbereitung als die *Flexoreamer*[®].

In allen ausgewerteten Studien ist die maschinelle Aufbereitung der Handaufbereitung in Bezug auf die Arbeitszeit überlegen.

Ein besseres Abschneiden der *ENDOflash*[®]-Feilen in Verbindung mit der Crown-Down-Technik gegenüber der Step-Back-Methode kann die bereits weiter oben beschriebenen Gründe haben. Im Vergleich zum *FlexMaster*[®]-System kann die Ursache für einen höheren Zeitaufwand mit den *FlexMaster*[®]-Feilen in diesem System selbst liegen. Zum einen muß an jeder Feile einzeln die Arbeitslänge eingestellt werden (das *KaVo ENDOflash*[®] besitzt einen Tiefenstopp direkt am Winkelstückkopf), zum anderen wird jedes Instrument über den *EndoStepper*[®] einzeln angewählt. Außerdem besteht der Instrumentensatz aus 10 Feilen, die zur Anwendung kommen gegenüber 6 Instrumenten bei der Step-Back-Technik und 9 Feilen bei der Crown-Down-Methode bei der Aufbereitung bis ISO-Größe 40.

Im Vergleich zu anderen Feilensystemen in verschiedenen Studien zeigt *FlexMaster*[®] jedoch eine deutliche Zeitersparnis. In den Untersuchungen von Sonntag (2003) benötigt das *FlexMaster*[®]-System im Durchschnitt 167 s gegenüber *ProFile*[®] mit 225 s, *ProTaper*[®] mit 199 s und *RaCe*TM mit 193 s. Hier machen sich die gute Abstimmung der Aufbereitungsinstrumente aufeinander in einer bestimmten Anwendungsreihenfolge und die Anordnung in einer Systembox bemerkbar.

Die Ergebnisse von Hülsmann und Bluhm (2004) zeigen eine schnellere Aufbereitung mit *FlexMaster*[®]-Feilen (1.94 min) verglichen mit der mittleren Aufbereitungszeit bei der Anwendung von *GT Rotary*[®]-Instrumenten (3.11 min), welche mit dem Instrumentendesign erklärt wird – ein konvexer Querschnitt und dadurch ein negativer Schneidekantenwinkel, der zu höherer Effizienz der *FlexMaster*[®]-Instrumente führt.

8.3 Kanalform

8.3.1 Krümmungswinkel

Eine Verringerung des Krümmungswinkels während der Aufbereitung geht einher mit einer Begradigung des gesamten Kanals durch einen ungleichmäßigen Materialabtrag. Ursache dafür ist der Drang der Instrumente, sich zu begradigen und somit den mittleren Bereich der Innenkurvatur mehr zu bearbeiten, wohingegen an der Außenkurvatur in diesem Bereich nur wenig oder gar kein Dentin abgetragen wird und es somit zu einer Verlagerung der Kanalachse kommt.

In den vorliegenden Untersuchungen kam es bei jeder Kombination sowohl im Kunststoffblock als auch im extrahierten Zahn im Durchschnitt zu einer Verkleinerung des Krümmungswinkels während der Aufbereitung. Teilweise bestanden signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Techniken und Feilen.

Die Wurzelkanäle beider Versuchsreihen wurden bei der maschinellen Aufbereitung mit dem *KaVo ENDOflash*[®] weniger begradigt als bei der Handaufbereitung.

Die Präparation gekrümmter Kanäle extrahierter Zähne ergab eine signifikant größere Veränderung des Krümmungswinkels durch *K-Flexofiles*[®] (8,5° für StepBack, 10,4° für CrownDown) im Vergleich zur maschinellen Aufbereitung. Dabei wurden die Kanäle mit *FlexMaster*[®]-Feilen im Durchschnitt am wenigsten begradigt (2,6°).

Die Aufbereitung vorgefertigter Kanäle im Kunststoffblock mit dem *FlexMaster*[®]-System liegt mit einer Verringerung des Winkels von 2,6° zwischen der Verwendung von *ENDOfash*[®]-Feilen und der Aufbereitung mit Handinstrumenten. Am geringsten wurden die Kanäle mit NiTi-Feilen/CrownDown begradigt (1,4°), am meisten mit *Flexoreamern*[®]/CrownDown (3,9°). Eine Signifikanz war nicht erkennbar.

Auch nach Berichten anderer Autoren kommt es mit allen Systemen zu einer mehr oder weniger ausgeprägten Kanalbegradigung. Die im Folgenden vorgestellten

Studien wurden ausnahmslos an gekrümmten Kanälen extrahierter Zähne vorgenommen.

Sehr geringe Veränderungen des Krümmungswinkels mit *FlexMaster*[®]-Feilen erhielten Gressmann und Hülsmann (2001) mit durchschnittlich 0,8°, Guelzow et al. (2005) mit 0,9° und Hülsmann et al. (2003) mit 0,6° durchschnittlicher Winkelverkleinerung. Dabei fanden sich keine klinisch relevanten Unterschiede zu anderen NiTi-Systemen wie *ProFile*[®], *HERO 642*, *ProTaper*[®] oder *Lightspeed*[®] (Gressmann und Hülsmann 2001; Hülsmann et al. 2003; Guelzow et al. 2005). Interessant sind dabei die Erkenntnisse von Hülsmann et al. (2003), dass eine Aufbereitung mit *FlexMaster*[®]-Feilen bis ISO-Größe 35 nur eine sehr geringe Begradigung (0,1°) ergibt und der Hauptanteil der Winkelverkleinerung vom Gebrauch der ISO-Größen 40 und 45 resultiert. Die Gründe hierfür sind noch unklar.

Bis auf Guelzow et al. (2005), bei denen es zu einer geringeren Begradigung mit Handinstrumenten (0,7°) gegenüber *FlexMaster*[®] (0,9°) kam, belegen die eigenen Untersuchungen die Ergebnisse in der Literatur. Schäfer et al. (2004) erhielten eine signifikant kleinere Veränderung des Krümmungswinkels mit dem *FlexMaster*[®]-System (1,12°) im Vergleich zur Handaufbereitung (3,36°), und auch bei Schäfer und Lohmann (2002b) zeigte der Vergleich von *FlexMaster*[®]-Feilen (2,14°) mit *K-Flexofiles*[®] (7,31°) bezüglich der Kanalbegradigung eine Signifikanz. Schäfer und Schlingemann (2003) fanden in ihrer Studie eine Begradigung von durchschnittlich 6,91° bei der Aufbereitung gekrümmter Kanäle mit *K-Flexofiles*[®]. Auch dieses Ergebnis ist signifikant gegenüber der maschinellen Aufbereitung und liegt in der Größenordnung der vorliegenden Resultate.

Der Vergleich von Nickel-Titan-Instrumenten und Feilen aus Edelstahl ergeben in der Literatur eine deutliche Überlegenheit der NiTi-Feilen. Pettiette et al. (1999) beschreiben mit einer Begradigung von 14,44° für Edelstahl und 4,39° für NiTi einen signifikanten Unterschied, ebenso Meister und Hülsmann (2004) und Schäfer und Zapke (1999). Letztere erhielten als Ergebnisse eine mittlere Winkelveränderung von 2,9° für NiTi-Feilen und 10,7° für Edelstahlfeilen.

Eine Erklärung hierfür ist die bereits mehrfach erwähnte hohe Elastizität der Nickel-Titan-Instrumente und somit ihre Fähigkeit, sich dem Kanalverlauf besser

anzupassen als Edelstahlinstrumente. Edelstahlfeilen haben einen größeren Drang, sich zu begradigen und tragen somit im mittleren Drittel der Innenkurvatur deutlich mehr Material ab, was in einer Verlegung der Kanalachse resultiert.

Auch wenn in der vorliegenden Studie die Ergebnisse nicht so eindeutig ausfielen, ist eine Überlegenheit der maschinellen Aufbereitung im Vergleich zur Handinstrumentation erkennbar. Die Durchschnittswerte für die Winkelverkleinerung, die für Edelstahl und NiTi sehr nah beieinander liegen, lassen darauf schließen, dass die hier untersuchten flexiblen Edelstahlinstrumente ähnlich gut dem Kanalverlauf folgen wie Nickel-Titan-Instrumente.

8.3.2 Materialabtrag und nichterweiterte Bereiche

Die Schwierigkeit bei der Aufbereitung gekrümmter Kanäle besteht darin, gleichmäßig über die gesamte Kanallänge Material abzutragen ohne die ursprüngliche Kanalform zu verändern. Es kommt jedoch häufig aufgrund der Rückstellungstendenzen der Instrumente zu Zonen, die mehr bearbeitet werden, und diesen Abschnitten gegenüberliegende Bereiche, an denen kein Materialabtrag erfolgt. Somit kann keine vollständige Aufbereitung und Reinigung erzielt werden, und der Behandlungserfolg ist in Frage gestellt.

Deshalb ist es Inhalt vieler Studien, den Materialabtrag verschiedener Feilen zu untersuchen, um Aussagen über ihre Fähigkeit treffen zu können, die ursprüngliche Kanalform beizubehalten und den Kanal gleichmäßig zu säubern.

Versuche mit *K-Flexofiles*[®] und *Flexoreamern*[®] mit modifizierter Spitze an vorgefertigten Kanälen in Kunststoffblöcken zeigten folgende Ergebnisse:

Bei Schäfer und Tepel (1993) ergab sich bei beiden Instrumenten ein gleichmäßiger Materialabtrag mit einer stärkeren Betonung an der Außenseite.

Einen weitgehend gleichmäßigen Materialabtrag sowohl an der Außen- als auch an der Innenseite, wobei lediglich über eine Strecke von 1 mm vor dem Kanalendpunkt an der Innenkurvatur kein Abtrag erfolgte, erhielten die Autoren Schäfer et al. (1994b+c), Tepel et al. (1995) und Schäfer und Hoppe (1995) in ihren Studien. Dabei waren bei Schäfer et al. (1994b+c) bauchige Veränderungen an der Außenseite sehr schwach ausgebildet.

In einer späteren Untersuchung von *Tepel* (1998) ergab sich an der Außenseite vom ersten Messpunkt an ein Materialabtrag, dagegen wurde an der Innenkurvatur erst ab dem vierten Messpunkt (das entspricht 4 mm vom Kanalendpunkt entfernt) Material messbar abgetragen. Außerdem fand sich unmittelbar im apikalen Endabschnitt eine leichte bauchförmige Veränderung.

Bei einem Vergleich beider Feilen untereinander fand Schäfer (1994, 1996b) heraus, dass bei der Aufbereitung in Step-Back-Technik beide Instrumente an der gesamten Außenseite Material abtragen, besonders auf einer Strecke von 3 mm bis 5 mm vor dem Kanalendpunkt, was zu einer gering ausgeprägten bauchförmigen Abweichung führte. Auf der Innenseite wurde auf einer Länge von 2,5 mm vor dem Kanalendpunkt kaum Material abgetragen. Insgesamt sieht der Autor einen gleichmäßigeren Materialabtrag bei der Aufbereitung mit *Flexoreamern*[®], jedoch ist der Unterschied nicht signifikant.

Martin und Blašković-Šubat (1997) beschreiben in ihrer Studie eine inakzeptable Aufbereitung gekrümmter Kanäle mit K-Flexofiles[®] (mit herkömmlicher Spitzengeometrie) ab ISO-Größe 25, wenn die Instrumente nicht vorgebogen werden, da sie einen großen Drang haben, sich zu begradigen und so starke seitliche Kräfte im gekrümmten Bereich ausüben. Positiv bewerten sie die geringe Frakturanfälligkeit und die hohe Schneidwirkung.

Einigkeit besteht darüber, dass diese flexiblen Edelstahlinstrumente mit modifizierter Spitze Feilen aus Nickel-Titan bezüglich ihrer Schneidleistung überlegen sind. So tragen NiTi-Feilen in unterschiedlichen Versuchen über eine Länge von 3,5 mm vor dem Endpunkt des Kanals kein Material ab, und auch bei Betrachtung des gesamten Kanals tragen NiTi-Instrumente zwar gleichmäßig, aber insgesamt weniger Material ab, so dass die Feilen im einzelnen nicht in der Lage waren, das Kanallumen entsprechend ihrer ISO-Größe zu erweitern. Andererseits kommt es bei der Anwendung von Instrumenten aus Nickel-Titan kaum zu unerwünschten Formveränderungen und die ursprüngliche Kanalachse wird besser beibehalten als mit den Edelstahlfeilen (Schäfer et al. 1994b; Schäfer und Hoppe 1995; Schäfer und Florek 2003). Dabei sehen *Schäfer und Florek* (2003) die flexiblen Instrumente mit modifizierter Spitze in ihren Aufbereitungsergebnissen den Feilen aus Nickel-Titan als eindeutig überlegen an, da die Batt-Spitze eine sehr gute zentrische Führung im Kanal aufweist.

Der Vergleich von Nickel-Titan-Instrumenten mit Feilen aus Edelstahl zeigte auch in den Untersuchungen von *Lam et al.* (1999), *Gençoğlu und Garip* (2000) und *Bertrand et al.* (2001), dass die Aufbereitung mit NiTi-Feilen weniger unerwünschte Formveränderungen und eine bessere Beibehaltung des originären Kanalverlaufs zeigt.

In der Literatur finden sich kaum Aussagen zum Materialabtrag mit *ENDOflash*[®]-Feilen. Lediglich *Perez et al.* (2005) untersuchten die Verwendung von *ENDOflash*[®]-Edelstahlinstrumenten im Vergleich zu dem Nickel-Titan-System *HERO 642*. Dabei trugen die Edelstahlfeilen insgesamt mehr Material ab als die NiTi-Feilen mit signifikanten Unterschieden an der Innenkurvatur 5 mm bis 7 mm vom Kanalendpunkt entfernt und 1 bzw. 2 mm vor dem Endpunkt an der Außenkurvatur. Die *HERO*-Instrumente zeigten eine bessere Beibehaltung der Kanalachse.

Die Aufbereitung mit dem *FlexMaster*[®]-System führt in der Studie von *Schäfer et al.* (2005) in Verbindung mit dem *Endo IT motor*[®] (Nachfolger des *EndoSteppers*[®]) zu geringen Veränderungen des Originalkanals bei gleichzeitig höherem Materialabtrag an Innen- und Außenkurvatur im Vergleich zu anderen drehmomentbegrenzten Antrieben.

Bei *Schäfer und Lohmann* (2002b), *Weiger et al.* (2003) und *Markovic et al.* (2005) kommt es bei der Aufbereitung mit *FlexMaster*[®]-Feilen zu einer Verlegung der Kanalachse in Richtung der Außenseite des Kanals. In den Studien bleiben Bereiche der Kanalwand unbearbeitet. In der Gesamteinschätzung zeigt sich aber eine sichere und zufriedenstellende Aufbereitung unter simulierten klinischen Bedingungen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigen wesentliche Aussagen anderer Autoren.

Die Aufbereitung mit den *ENDOflash*[®]-Nickel-Titan-Instrumenten zeigte über die gesamte Kanallänge den geringsten Materialabtrag, gefolgt von den *FlexMaster*[®]-Feilen, *ENDOflash*[®]-Edelstahl-Feilen und Handinstrumenten. Dabei war der geringe Abtrag in vorgefertigten Kanälen im Kunststoffblock mit NiTi/CrownDown signifikant gegenüber der Handaufbereitung. Alle Nickel-Titan-Feilen weisen

sowohl an künstlichen Kanälen als auch ex vivo einen gleichmäßigen Materialabtrag auf mit weitgehender Beibehaltung des originären Kanalverlaufs, lediglich die Präparation mit NiTi-Instrumenten in der Step-Back-Technik zeigte in den eigenen Untersuchungen eine leichte bauchförmige Veränderung an der Außenkrümmung. Diese war deutlich ausgeprägter bei der Verwendung von *ENDOfash*[®]/Edelstahl (StepBack) und bei der Handaufbereitung mit *Flexreamern*[®].

Das *FlexMaster*[®]-System wies einen gleichmäßigen Materialabtrag auf, der auf der gesamten Kanallänge größer als mit Nickel-Titan-Feilen und geringer im Vergleich zu Edelstahlfeilen – sowohl maschinell als auch mit Hand - war. Dabei kam es bei der Aufbereitung extrahierter Zähne zu einer leichten bauchförmigen Veränderung an der Außenkrümmung.

Letztlich zeigte die Verwendung von Handinstrumenten in den eigenen Untersuchungen eine Verlagerung der Kanalachse zur Außenkrümmung hin. Auch diese Beobachtungen decken sich mit den Ergebnissen weiterer Autoren.

Unbearbeitete Bereiche finden sich in der vorliegenden Studie bei Betrachtung der Mittelwerte nicht. Die Einzelwerte am Kunststoffblock zeigen nichterweiterte Areale an der Innenkrümmung vermehrt bei der Präparation mit *FlexMaster*[®] und *ENDOfash*[®]/NiTi/StepBack bis zu 3 mm vor dem Kanalendpunkt und an der Außenkrümmung im mittleren Drittel besonders bei der Aufbereitung in Step-Back-Technik. Kanäle in extrahierten Zähnen zeigen deutlich seltener unbearbeitete Bereiche, am häufigsten im apikalen Bereich an der Innenkrümmung bei der Anwendung von *ENDOfash*[®]-Feilen nach der Step-Back-Methode.

Da in den Arealen, an denen kein Material abgetragen wurde, auch keine Reinigung stattfindet, wurde in zahlreichen Studien die Reinigungswirkung der Feilen hinsichtlich Debrisauflagerungen und Schmierschicht untersucht und ausgewertet. Auf einige dieser Untersuchungen soll an dieser Stelle verwiesen werden, auch wenn dieser Beobachtungspunkt nicht Inhalt der eigenen Untersuchungen war.

Die Reinigungswirkung der *FlexMaster*[®]-Feilen fiel bei *Gressmann und Hülsmann* (2001) sowie *Hülsmann et al.* (2003) nicht ganz zufriedenstellend aus. So zeigten sich trotz Verwendung eines Chelators und häufiger Spülung noch eine

gleichmäßige Schmierschicht und teilweise größere Debrisauflagerungen unter dem Rasterelektronenmikroskop. Trotzdem ist eine Überlegenheit bezüglich der Reinigungswirkung gegenüber den NiTi-Instrumenten mit „radial lands“ erkennbar, die die Autoren darauf zurückführen, dass die *FlexMaster*[®]-Feilen das Dentin besser schneiden und weniger zerreiben. Die Ergebnisse unterstreichen außerdem die Wichtigkeit der Verwendung von Spülflüssigkeiten.

Auch *Schäfer und Lohmann* (2002b) erhielten keine optimale Reinigung der Kanalwände mit dem *FlexMaster*[®]-System. Im Vergleich mit *K-Flexofiles*[®] zeigten die Edelstahlinstrumente weniger Debris und eine geringere Schmierschicht. Die Unterschiede waren im koronalen und mittleren Drittel signifikant.

Die Studie von *Schäfer und Schlingemann* (2003) bestätigt die Ergebnisse für die Aufbereitung mit *K-Flexofiles*[®].

Der Einsatz von Edelstahlfeilen mit dem *KaVo ENDOfash*[®] zeigt in den Untersuchungen von *Schäfer und Zapke* (1999) nur selten unbearbeitete Bereiche mit Rückständen von Debris. Dieses Ergebnis war mit der Reinigungswirkung bei der manuellen Aufbereitung vergleichbar. Keine zufriedenstellende Reinigung mit *ENDOfash*[®]-Edelstahl- und Nickel-Titan-Feilen erhielten *Gerbert und Hülsmann* (2004) und verwiesen dabei auf die Bedeutung und Notwendigkeit einer begleitenden intensiven Wurzelkanalspülung. Dabei erzielten sie die besten Präparationsergebnisse mit *ENDOfash*[®]-NiTi in Crown-Down-Technik.

Die großen Rückstände an Debris bei der Verwendung von *ENDOfash*[®]-Edelstahlinstrumenten bestätigten auch *Fariniuk et al.* (2003).

8.4 Arbeitssicherheit

Instrumentenfrakturen waren in der vorliegenden Arbeit nur selten. So kam es bei der Aufbereitung vorgefertigter Kanäle in lediglich einem Fall zu einer Fraktur einer *ENDOfash*[®]-Nickel-Titan-Feile der ISO-Größe 20 bei der Anwendung in Step-Back-Technik. Bei der Präparation von Wurzelkanälen in extrahierten Zähnen frakturierten in der Step-Back-Technik insgesamt 7 Instrumente – 3 *K-Flexofiles*[®] (2xISO 15, ISO 20), 2 *Flexoreamer*[®] (ISO 20) und 2 *ENDOfash*[®]-Edelstahlfeilen (ISO 15, ISO 20). Außerdem brach eine *ENDOfash*[®]-Edelstahlfeile der ISO-Größe 20 in der Crown-Down-Technik.

Diese Ergebnisse zeigen zum einen, dass eine zusätzliche Untersuchung an extrahierten Zähnen wichtig ist, um klinisch relevante Schlüsse ziehen zu können. Zum anderen scheint die Aufbereitung nach der Step-Back-Methode anfälliger für Instrumentenfrakturen zu sein als die Crown-Down-Technik.

In der Literatur finden sich dazu folgende Ergebnisse:

Keine Fraktur von *FlexMaster*[®]-Feilen trat auf in den Versuchen von *Schäfer und Lohmann* (2002a+b) sowohl im Kunststoffblock (28° Kanalkrümmung) als auch an extrahierten Zähnen, bei *Weiger et al.* (2003), *Hülsmann und Bluhm* (2004) und *Guelzow et al.* (2005) bei der Aufbereitung extrahierter Zähne und bei *Sonntag et al.* (2005) bei der Präparation am Kunststoffblock.

Je einen Instrumentenbruch zeigten die Untersuchungen von *Gressmann und Hülsmann* (2001) und *Hülsmann et al.* (2003) bei der Aufbereitung ex vivo, und in 2 Fällen kam es zu Frakturen von *FlexMaster*[®]-Instrumenten bei *Braun et al.* (2003) und *Schäfer et al.* (2004) in vivo sowie bei *Schäfer und Lohmann* (2002a) am vorgefertigten Kanal mit 35° Kanalkrümmung.

Bei der Wurzelkanalaufbereitung mit *K-Flexofiles*[®] kam es in keiner der erfassten Studien zu einer Fraktur (*Schäfer und Lohmann* 2002a+b; *Schäfer und Florek* 2003; *Schäfer und Schlingemann* 2003).

Die Verwendung des *KaVo ENDOfash*[®] zeigte weder mit Edelstahl- noch mit Nickel-Titan-Instrumenten eine Feilenfraktur bei der Aufbereitung (*Schäfer und Zapke* 1999; *Meister und Hülsmann* 2004).

Beim Vergleich von Nickel-Titan- mit Edelstahlfeilen kam es in keiner der beiden Gruppen zu einem Instrumentenbruch (*Pettiette et al.* 1999).

Dagegen finden sich unterschiedliche Aussagen zum Vergleich der Frakturanfälligkeit in Abhängigkeit von der Aufbereitungstechnik. *Luiten et al.* (1995) hatten weder bei der Präparation in Step-Back-Technik noch in Crown-Down eine Feilenfraktur. Wohingegen *Kosti et al.* (2004) mehr Brüche bei der

Aufbereitung in Step-Back-Technik verzeichneten als bei der Anwendung der Crown-Down-Methode.

Es ist zu erkennen, dass das Frakturrisiko zum einen von der Art des Antriebs und zum anderen von der Aufbereitungsmethode abhängt. Drehmomentbegrenzte maschinelle Antriebe zeigen dabei eine geringere Frakturnrate als z.B. die Handinstrumentierung, da sie beim Erreichen der instrumentenspezifischen Belastungsgrenze stoppen und nicht weiter drehen. Die höhere Anzahl an Brüchen bei Verwendung der Step-Back-Technik lässt sich damit erklären, dass bei dieser Methode die Feilen auf die gesamte Arbeitslänge eingeführt werden und somit die Kräfte, die auf das Instrument wirken, eine größere Angriffsfläche haben. Außerdem besteht ein Zusammenhang der Frakturwahrscheinlichkeit mit dem Krümmungsradius und der Instrumentengröße – je kleiner der Radius und je größer und damit steifer das Instrument, umso größer die Gefahr einer Biegefraktur. Und je enger der Kanal und der Gebrauch von Feilen kleiner Größe und geringer Konizität, umso wahrscheinlicher eine Torsionsfraktur (Frentzen et al. 2005).

9 Schlussfolgerungen

Betrachtet man die Ergebnisse der vorliegenden Studie und diejenigen anderer Autoren, so lassen sich folgende Schlüsse zur Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle ziehen:

- Die Aufbereitung mit maschinellen Systemen zeigt gegenüber der Verwendung von Handinstrumenten eine deutliche Zeitersparnis.
- Eine Veränderung des Krümmungswinkels und somit eine Begradigung des Kanals fällt bei der Präparation mit Nickel-Titan-Feilen am geringsten aus. Auch die Aufbereitung mit maschinell betriebenen flexiblen Edelstahlfeilen zeigt gegenüber der Handaufbereitung eine geringere Begradigung.
- Bezüglich des Materialabtrags an Innen- und Außenkrümmung zeigen die Edelstahlinstrumente eine höhere Schneidleistung als Nickel-Titan-Feilen, wobei letztere die ursprüngliche Kanalform besser beibehalten.
- Das Frakturrisiko wird durch die Anwendung von drehmomentbegrenzten Antrieben und die Verwendung der Feilen in nur wenigen Arbeitszyklen auf ein Minimum reduziert.
- Die *K-Flexofiles*[®] schnitten in allen vorgestellten Untersuchungen am schlechtesten ab.
- Der Vergleich der Step-Back- mit der Crown-Down-Technik zeigt, dass die Crown-Down-Methode schneller und mit weniger Frakturen und besserer Beibehaltung der originären Kanalform unter gleichzeitig guter Reinigungswirkung der Step-Back-Methode überlegen ist.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Formgebung bei der Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle dann am besten umgesetzt werden kann, wenn die Präparation unter Verwendung eines drehmomentbegrenzten Antriebes in Verbindung mit Nickel-Titan-Feilen verschiedener Konizitäten nach der Crown-Down-Technik erfolgt. Diese Kombination zeigt eine effiziente, zeitsparende Aufbereitung mit einem geringen Frakturrisiko und einer sehr guten Beibehaltung des ursprünglichen Kanalverlaufs. Eine zufriedenstellende Reinigung des Kanals muss durch intensives Spülen während der Aufbereitung gesichert werden. Durch die abschließende Präparation mit einem Handinstrument (Hedströmfeile) auf voller Arbeitslänge wird auch das apikale Kanaldrittel optimal gesäubert und der Kanal auf die der Feile entsprechende ISO-Größe konisch ausgeformt.

10 Literatur- und Quellenverzeichnis

- 1 Abou-Rass M, Frank AL, Glick DH. 1980.
The anticurvature filing method to prepare the curved root canal.
J Am Dent Assoc, 101:792-794.
- 2 Attin T, Buchalla W, Zirkel C, Lussi A. 2002.
Clinical evaluation of the cleansing properties of the noninstrumental
technique for cleaning root canals.
Int Endod J, 35:929-933.
- 3 Backman CA, Oswald RJ, Pitts DL. 1992.
A radiographic comparison of two root canal instrumentation techniques.
J Endod, 18 (1):19-24.
- 4 Baumann MA. 2002.
Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit dem RaCe-System.
Endodontie, 11 (3):239-249.
- 5 Beer R, Baumann MA. 1997.
Endodontologie.
Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- 6 Beer R, Baumann MA, Kielbassa AM. 2004.
Taschenatlas der Endodontie.
Georg Thieme Verlag.
- 7 Bertrand MF, Lupi-Pégurier L, Médioni E, Muller M, Bolla M. 2001.
Curved molar root canal preparation using Hero 642 rotary nickel-titanium
instrumentes.
Int Endod J, 34:631-636.

- 8 Braun A, Schüttlöffel ME, Frentzen M. 2003.
Wurzelkanalbegradigung durch die Aufbereitung mit rotierenden NiTi-Systemen.
Dtsch Zahnärztl Z, 58 (1):42-44.
- 9 Brendel KU. 2001.
Rationelle und minimalinvasive Wurzelkanalaufbereitung mit dem GT Rotary System.
Endodontie, 10 (3):259-276.
- 10 Briseño MB. 1996.
An anti-zipping preparation system (method and instrument) for curved root canals: a preliminary report.
J Endod, 22 (2):85-89.
- 11 Briseño MB. 1992.
Einfluss verschiedener Wurzelkanalinstrumente bzw. Aufbereitungssysteme auf die Präparation gekrümmter Wurzelkanäle.
Endodontie, 4:279-290.
- 12 Buehler WJ, Wang FE. 1968.
A summary of recent research on the Nitinol alloys and their potential application in ocean engineering.
Ocean Engng., 1:105-120.
- 13 Büning K, Ioannou I. 1999.
Maschinelle Aufbereitung aus Sicht der Praxis – Differenzierter und effizienter denn je.
Zahnarzt-Wirtschaft-Praxis, 8:84-85.
- 14 Campbell D, Friedman S, Nguyen HQ, Kaufmann A, Keila S. 1998.
Apical extent of rotary canal instrumentation with an apex- locating handpiece in vitro.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 85:319-324.

- 15 Caselitz R, Koçkapan C. 1990.
Untersuchungen über die Effektivität von sechs verschiedenen Methoden zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung.
Quintessenz, 4:597-610.
- 16 Chong BS, Pitt Ford TR. 1996.
Elektronische Geräte zur Wurzelkanallängenbestimmung – welche, wann und wie?
Endodontie, 2:137-142.
- 17 Cunnigham CJ, Senia ES. 1992.
A three-dimensional study of canal curvatures in the mesial roots of mandibular molars.
Int Endod J, 18:294-300.
- 18 Eggert C, Peters O, Meyer E, Barbakow F. 1998.
Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle unter Anwendung der Lightspeed-Methode.
Teil 2: Praktische Anwendung.
Endodontie, 1:31-40.
- 19 Esposito PT, Cunningham CJ. 1995.
A comparison of canal preparation with nickel-titanium and stainless steel instruments.
J Endod, 21 (4):173-176.
- 20 Fariniuk LF, Baratto-Filho F, da Cruz-Filho AM, de Sousa-Neto MD. 2003.
Histologic analysis of the cleaning capacity of mechanical endodontic instruments activated by the ENDOflash system.
J Endod, 29 (10):651-653.
- 21 Frentzen M, Clemens J. 1995.
Fließverhalten von erwärmter Guttapercha bei der Wurzelkanalfüllung.
Dtsch Zahnärztl Z, 50 (12):907-908.

- 22 Frentzen M, Nickel J, Brunert MCL. 2005.
Grundlagen zur maschinellen Aufbereitung von Wurzelkanälen mit Nickel-Titan-Feilensystemen.
ZWR, 114 (7+8) :325-334.
- 23 Gençoğlu N, Garip Y. 2000.
Der Einfluss von Nitiflex-Instrumenten bei der Aufbereitung von gekrümmten Wurzelkanälen.
Dtsch Zahnärztl Z, 55 (9):624-627.
- 24 Georgi M, Hülsmann M. 2006.
Keine Wurzelkanalbehandlung ohne Kofferdam.
zm, 96 (7):12-14.
- 25 Gerbert C, Hülsmann M. 2004.
Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit dem ENDOflash-Winkelstück.
II. In-vitro-Vergleich unterschiedlicher Aufbereitungsinstrumente.
Dtsch Zahnärztl Z, 59 (7):387-392.
- 26 Glosson CR, Haller RH, Brent Dove S, del Rio CE. 1995.
A comparison of root canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-Flex endodontic instruments.
J Endod, 21 (3):146-151.
- 27 Goerig AC, Michelich RJ, Schultz HH. 1982.
Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique.
J Endod, 8 (12):550-554.
- 28 Gressmann G, Hülsmann M. 2001.
Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit dem FlexMaster-NiTi-System.
Endodontie, 10 (3):227-241.

- 29 Griesinger HR, Hannig M, Albers H-K. 1993.
Erfolgreiche Aufbereitung stark gekrümmter Wurzelkanäle – Die korono-apikale Technik.
ZWR, 102 (12):842-850.
- 30 Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM. 2005.
Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation.
Int Endod J, 38:743-752.
- 31 Heidemann D (Herausgeber). 2001.
Endodontie. Praxis der Zahnheilkunde (Beiträge von Baumann MA, Betz W, Heidemann D, Hülsmann M, Löst C, Raab H-M, Schäfer E, Schriever A, Staehle HJ, Weiger R, Weigl P).
4. Auflage. München, Jena: Urban & Fischer, 99-112.
- 32 Hellwig E, Klimek J, Attin T. 1999.
Einführung in die Zahnerhaltung.
2. Auflage. München, Jena: Urban & Fischer.
- 33 Herrmann HW. 1998.
Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle.
Eine Modifikation der Crown-down-Technik unter Verwendung des ProFile®.04-Systems.
Endodontie, 1:41-54.
- 34 Herrmann HW. 1999.
Die Kombination von Lightspeed-Instrumenten und konischen rotierenden Nickel-Titan-Instrumenten zur Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle.
Endodontie, 4:311-322.
- 35 Hülsmann M. 1996.
Zur Geschichte der Wurzelkanalaufbereitung.
Endodontie, 2:97-112.

- 36 Hülsmann M, Bluhm V. 2004.
Efficacy, cleaning ability and safety of different rotary NiTi instruments in root canal retreatment.
Int Endod J, 37:468-476.
- 37 Hülsmann M, Schade M. 2000.
Die Wurzelkanalaufbereitung mit dem maschinellen Nickel-Titan-System HERO 642.
Endodontie, 3:181-193.
- 38 Hülsmann M, Stryga F. 1993.
Comparison of root canal preparation using different automated devices and hand instrumentation.
J Endod, 19:141-145.
- 39 Hülsmann M, Gambal A, Bahr R. 1999.
An evaluation of root canal preparation with the automated Excalibur endodontic handpiece.
Clin Oral Invest, 3:70-78.
- 40 Hülsmann M, Gressmann G, Schäfers F. 2003.
A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments.
Int Endod J, 36:358-366.
- 41 Ingle JI, Taintor JF. 1985.
Endodontics.
3rd ed. Philadelphia: Lea & Febiger.
- 42 Kaup M, Ott K. 1998.
Veränderungen der Wurzelkanalform nach standardisierter Bearbeitung mit Wurzelkanalfeilen.
Dtsch Zahnärztl Z, 53:49-52.

- 43 Ketterl W (Herausgeber). 1987.
Zahnerhaltung II. (Beiträge von Günther H, Heidemann D, Herforth A, Horch HH, Hupfaut L, Ketterl W, Schmuth G, Seichter U).
2. Auflage. München, Wien, Baltimore: Urban & Schwarzenberg.
- 44 Klimm W. 2003.
Endodontologie. Grundlagen und Praxis.
Dt. ZÄ Verlag Köln, 42-42.
- 45 Kosti E, Zinelis S, Lambrianidis T, Margelos J. 2004.
A comparative study of crack development in stainless-steel Hedstrom files used with step-back or crown-down techniques.
J Endod, 30 (1):38-41.
- 46 Krammer J, Schlepper H. 1990.
Handbuch endodontisches Instrumentarium.
5. Auflage. München: Vereinigte Dentalwerke, Antaeos Beutelrock Zipperer Zdarsky Ehrler GmbH & Co KG.
- 47 Lam TV, Lewis DJ, Atkins DR, Macfarlane RH, Clarkson RM, Whitehead MG, Brockhurst PJ, Moule AJ. 1999.
Changes in root canal morphology in simulated curved canals over-instrumented with a variety of stainless steel and nickel titanium files.
Australian Dental Journal, 44:12-19.
- 48 Lendini M, Alemanno E, Migliaretti G, Berutti E. 2005.
The effect of high-frequency electrical pulses on organic tissue in root canals.
Int Endod J, 38:531-538.
- 49 Leseberg DA, Montgomery S. 1991.
The effects of Canal Master, Flex-R, and K-Flex instrumentation on root canal configuration.
J Endod, 17 (2):59-65.

- 50 Lindner MS, Hannig M, Griesinger HR, Albers HK. 1995.
Die Kanalmorphologie nach manueller Wurzelkanalaufbereitung.
Dtsch Zahnärztl Z, 50:913-916.
- 51 Löst C. 1995.
Chirurgische Eingriffe nach Wurzelkanalbehandlung: Wurzelspitzen-
resektion, Hemisektion und Wurzelamputation.
Dtsch Zahnärztl Z, 50:875-880.
- 52 Löst C, Weiger R, Axmann- Krcmar D. 1995.
Prognose von Wurzelkanalbehandlungen unter Anwendung der lateralen
Kondensationstechnik und eines Glasionomerzementsealers.
Dtsch Zahnärztl Z, 50:897-901.
- 53 Luiten DJ, Morgan LA, Baumgartner JC, Marshall JG. 1995.
A comparison of four instrumentation techniques on apical canal
transportation.
J Endod, 21 (1):26-32.
- 54 Lussi A. 2000.
Die Reinigung und Obturation des Wurzelkanalsystems ohne
konventionelle Instrumente.
Schweiz Monatsschr Zahnmed, 110 (3):249-258.
- 55 Lussi A, Hotz M, Stich H. 2004.
Die Balanced Force und die GT-Rotary-Technik im Vergleich zur nicht
instrumentellen Technik (NIT).
Schweiz Monatsschr Zahnmed, 114 (1):12-18.
- 56 Lussi A, Suter B, Fritzsche A, Gygax M, Portmann P. 2002.
In vivo performance of the new non-instrumentation technology (NIT) for
root canal obturation.
Int Endod J, 35:352-358.

- 57 Markovic L, Eggerath J, Kiene J, Kugler S, Stelzner R, Beer R, Gängler P. 2005.
Vergleichende Untersuchung zur Charakterisierung der FlexMaster-Feile.
ZWR, 114 (7+8):317-324.
- 58 Martin G, Blašković-Šubat V. 1997.
Preparation of simulated root canals using the Macfile, Canal Master U and K-Flexofile.
Int Endod J, 30:160-166.
- 59 Meister K, Hülsmann M. 2004.
Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit dem ENDOflash-Winkelstück.
I. In-vitro-Vergleich unterschiedlicher Aufbereitungstechniken.
Dtsch Zahnärztl Z, 59 (7):381-386.
- 60 Morgan LF, Montgomery S. 1984.
An evalution of the crown-down pressureless technique.
J Endod, 10 (10):491-498.
- 61 Mullaney TP. 1979.
Instrumentation of finely curved canals.
Dental Clinics of North America, 23 (4):575-592.
- 62 Nagy CD, Szabó J, Szabó J. 1995.
A mathematically based classification of root canal curvatures on natural human teeth.
J Endod, 21 (11):557-560.
- 63 Perez F, Schoumacher M, Peli JF. 2005.
Shaping ability of two rotary instruments in simulated canals: stainless steel ENDOflash and nickel-titanium HERO Shaper.
Int Endod J, 38:637-644.

- 64 Peters LB. 1992.
Präparation der endodontischen Zugangskavität und Darstellung der Kanäle.
Teil I: Schneidezähne und Eckzähne.
Endodontie, 1:57-64.
- 65 Peters O, Eggert C, Barbakow F. 1997.
Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle unter Anwendung der Lightspeed-Methode.
Teil 1: Grundlagen.
Endodontie, 4:267-272.
- 66 Pettiette MT, Metzger Z, Phillips C, Trope M. 1999.
Endodontic complications of root canal therapy performed by dental students with stainless-steel K-Files and nickel-titanium hand files.
J Endod 25 (4):230-234.
- 67 Pucci FM, Reig R. 1944.
Conductos radicales. Volume II.
Buenos Aires: Medico-Quirurgica, 319.
- 68 Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG. 1985.
The „Balanced Force“ concept for instrumentation of curved canals.
J Endod, 11 (5):203-211.
- 69 Ruddle CJ. 1994.
Erfolgreiche Strategien bei der Präparation des Wurzelkanals.
Endodontie, 3:217-232.
- 70 Schade M. 2000.
Maschinelle WK-Aufbereitung mit dem HERO 642-System.
ZMK, 4:193-197.

- 71 Schäfer E. 1994.
Vergleich verschiedener Techniken zur Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle.
Dtsch Zahnärztl Z, 49:947-951.
- 72 Schäfer E. 1995a.
Auswirkungen verschiedener Sterilisationsverfahren auf die Schneidleistung von Wurzelkanalinstrumenten.
Dtsch Zahnärztl Z, 50:150-153.
- 73 Schäfer E. 1995b.
Das Instrumentarium zur manuellen Wurzelkanalaufbereitung.
Teil 1: Wurzelkanalinstrumente aus Edelstahllegierungen.
Endodontie, 3:205-221.
- 74 Schäfer E. 1995c.
Das Instrumentarium zur manuellen Wurzelkanalaufbereitung.
Teil 2: Wurzelkanalinstrumente aus Titanlegierungen.
Endodontie 4 (1995):305-312.
- 75 Schäfer E. 1996a.
Das Instrumentarium zur manuellen Wurzelkanalaufbereitung.
Teil 3: Spezielle Wurzelkanalinstrumente.
Endodontie, 1:39-49.
- 76 Schäfer E. 1996b.
Effects of four instrumentation techniques on curved canals: a comparison study.
J Endod, 22 (12):685-689.
- 77 Schäfer E. 1998a.
Metallurgie und Eigenschaften von Nickel-Titan-Handinstrumenten.
Endodontie, 4:323-335.

- 78 Schäfer E. 1998b.
Über die Auswirkungen verschiedener Konstruktionsmerkmale auf die Eigenschaften von Wurzelkanalinstrumenten.
Teil 1: Schneidleistung.
Dtsch Zahnärztl Z, 53:187-192.
- 79 Schäfer E, Florek H. 2003.
Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Flexofiles.
Part 1. Shaping ability in simulated curved canals.
Int Endod J, 36:199-207.
- 80 Schäfer E, Hoppe W. 1995.
Wurzelkanalinstrumente aus Titan-Aluminium, Nickel-Titan oder Edelstahl.
Schneidleistung und Aufbereitung gekrümmter Kanäle.
ZWR, 104 (9):612-616.
- 81 Schäfer E, Lohmann D. 2002a.
Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile.
Part 1. Shaping ability in simulated curved canals.
Int Endod J, 35:505-513.
- 82 Schäfer E, Lohmann D. 2002b.
Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile.
Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth.
Int Endod J, 35:514-521.

- 83 Schäfer E, Schlingemann R. 2003.
Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile.
Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth.
Int Endod J, 36:208-217.
- 84 Schäfer E, Tepel J. 1993.
Formveränderungen gekrümmter Wurzelkanäle nach standardisierter Aufbereitung.
Dtsch Zahnärztl Z, 48 (10):653-658.
- 85 Schäfer E, Zapke K. 1999.
Vergleichende rasterelektronenmikroskopische Untersuchung manuell und maschinell aufbereiteter Wurzelkanäle.
Dtsch Zahnärztl Z, 54 (9):551-558.
- 86 Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. 2005.
Influence of different types of automated devices on the shaping ability of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments.
Int Endod J, 38:627-636.
- 87 Schäfer E, Schulz-Bongert U, Tulus G. 2004.
Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation: a clinical study.
J Endod, 30 (6):432-435.
- 88 Schäfer E, Tepel J, Hoppe W. 1994a.
Experimentelle Untersuchungen zur Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle mit neuartigen Wurzelkanalinstrumenten.
Dtsch Zahnärztl Z, 49:311-315.

- 89 Schäfer E, Tepel J, Hoppe W. 1994b.
Vergleichende Untersuchung von Wurzelkanalinstrumenten aus
herkömmlichem Stahl und Nickel-Titan-Legierungen.
Endodontie, 3:185-197.
- 90 Schäfer E, Tepel J, Hoppe W. 1994c.
Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan-Legierungen zur Wurzelkanal-
aufbereitung.
ZWR, 103 (2):90-96.
- 91 Schäfer E, Hickel R, Geurtsen W, Heidemann D, Löst C, Petschelt A, Raab
WH-M. 2000.
Offizielles Endodontologisches Lexikon – mit einem Anhang für Materialien
und Instrumente – der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung.
Endodontie, 2:129-160.
- 92 Schneider SW. 1971.
A comparison of canal preparations in straight and curved root canals.
Oral Surg, 32 (2):271-275.
- 93 Schulz- Bongert U. 1997.
Die Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle.
Die „Double- flared“ Aufbereitung mit individualisierten Handinstrumenten
nach *Franklin S. Weine*.
Endodontie, 2:113-126.
- 94 Sonntag D. 2003.
Schneidengeometrie und Effizienz voll rotierender Nickel-Titan-Feilen.
Endodontie, 12 (3):229-242.
- 95 Sonntag D, von Abendroth N, Stachniss V. 2005.
Wurzelkanalaufbereitung mit Niti-FlexMaster- und M-File-Instrumenten.
Dtsch Zahnärztl Z, 60 (5):268-274.

- 96 Städtler P, Jeglitsch M. 1993.
Elastizität und Maßtreue endodontischer Aufbereitungsinstrumente.
Endodontie, 1:25-31.
- 97 Steffen H, Löw A. 1999.
Klinische Bewertung der Messgenauigkeit des Root ZX im Vergleich zur
Röntgenmessaufnahme.
Dtsch Zahnärztl Z, 54 (9):559-562.
- 98 Stock CJR, Nehammer CF. 1992.
Endodontics in practice.
2nd Ed.-reprinted. British Dent J 1989:30-32.
- 99 Suter B. 1994.
Das Canal- Master- U- System zur Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle
in Theorie und Praxis.
Endodontie, 2:105-113.
- 100 Szep S, Gerhardt T, Heidemann D. 1995.
Veränderungen des Wurzelkanalverlaufes bei der Anwendung
verschiedener flexibler K-Feilen.
Dtsch Zahnärztl Z, 50:924-926.
- 101 Tepel J, Schäfer E, Hoppe W. 1993.
Kunststoffe als Modellmaterial in der Endodontie.
Dtsch Zahnärztl Z, 48 (11):736-738.
- 102 Tepel J, Schäfer E, Hoppe W. 1995.
Root canal instruments for manual use: cutting efficiency and
instrumentation of curved canals.
Int Endod J, 28:68-76.

- 103 Tepel J. 1998.
Experimentelle Untersuchungen zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung.
Dtsch Zahnärztl Z, 53 (2):101-114.
- 104 Thompson SA, Dummer PMH. 1998.
Shaping ability of Quantec Series 2000 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals : Part 2.
Int Endod J, 31:268-274.
- 105 Thompson SA, Dummer PMH. 2000.
Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals : Part 1.
Int Endod J, 33:248-254.
- 106 Tronstad L. 2003.
Clinical Endodontics. A Textbook.
2nd revised Ed: Thieme-Verlag, 202-214.
- 107 Vertucci FJ. 1984.
Root canal anatomy of the human permanent teeth.
Oral Surg, 58:589-599.
- 108 von Velzen SKT, Genet JM, Kersten HW, Moorers WR, Wesselink PR. 1988.
Endodontie.
Köln: Dt. Ärzte- Verlag, 121-137.
- 109 Voß A. 1998.
Die Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle.
Die Step-down-Technik.
Endodontie, 3:215-223.

- 110 Weiger R, Brückner M, ElAyouti A, Löst C. 2003.
Preparation of curved root canals with rotary FlexMaster instruments compared to Lightspeed instruments and NiTi hand files.
Int Endod J, 36:483-490.
- 111 Weine FS. 1982.
Endodontic Therapy.
Third Edition. St. Louis, Toronto, London: The C.V. Mosby Comp., 211.
- 112 Wienand S. 1994.
In vitro Vergleich manueller Wurzelkanalaufbereitungsmethoden: Anticurvature-Filing-Technik, Aufbereitung mit Ergoflex-Feilen, Balanced-Force-Technik und Canal-Master-Aufbereitung.
Med. Diss., Frankfurt am Main.
- 113 Willershausen B, Tekyatan H, Schulze R, Briseño B. 2005.
Bestimmung und Bedeutung von Wurzelkanalkrümmungen und Längenverhältnissen von OK-Prämolaren.
Dtsch Zahnärztl Z, 60 (2):87-90.
- 114 Winkler R. 1996.
Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle.
Modifizierte endodontische Aufbereitungstechnik.
Endodontie, 1:17-27.
- 115 Zidell J. 1985.
Classification of root canal system.
In: Ingle JI, Taintor JF. Endodontics.
3rd ed. Philadelphia: Lea & Febiger: 246.

- 116 ...
Consensus report of the European Society of Endodontology on quality guidelines for endodontic treatment.
2nd Draft to be discussed during the ESE Congress London – November 11-13, 1993.
- 117 ...
Maillefer/ ProFile®.
Firmeninformation Maillefer Instruments, Ballaigues / Schweiz.
- 118 ...
Fort-Schritt / VDW EndoStepper®.
Firmeninformation VDW GmbH, München.
- 119 ...
Fort-Schritt / VDW EndoStepper®.
Anwendungsbroschüre VDW GmbH, München.
- 120 ...
FlexMaster®.
Firmeninformation VDW GmbH, München.
- 121 ...
Wurzelkanalaufbereitungen.
Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und der DGZ. 2001.
Endodontie, 10 (3):301-304.
- 122 ...
ENDOfash LUX 3 Winkelstück 3640 L; ENDOfash Winkelstück 3640.
Gebrauchsanweisung, Wartungsanweisung, Montageanweisung KaVo.

123 ...

Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung.

Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und der DGZ. 2005.

zm, 95 (16):50-54.

Tabelle 11: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung mit *EndoStepper®* / *FlexMaster®* in mm (Wurzelkanal im Kunststoffblock); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt) (Kanalbezeichnung FM A, B, C, D, E, F, G, H, K, L, M)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FM A	i	0,000	0,016	0,018	0,029	0,032	0,059	0,147	0,229	0,297	0,385	0,400	0,365
	a	0,100	0,135	0,182	0,178	0,177	0,129	0,097	0,079	0,091	0,112	0,135	0,141
FM B	i	0,000	0,000	0,000	0,041	0,047	0,088	0,174	0,265	0,262	0,235	0,212	0,197
	a	0,079	0,156	0,118	0,112	0,109	0,094	0,047	0,000	0,000	0,071	0,074	0,082
FM C	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,025	0,045	0,050	0,058	0,066	0,075	0,072
	a	0,103	0,156	0,188	0,131	0,128	0,094	0,044	0,059	0,078	0,081	0,108	0,113
FM D	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,056	0,150	0,229	0,215	0,188	0,029
	a	0,115	0,168	0,171	0,185	0,118	0,094	0,091	0,053	0,000	0,000	0,000	0,000
FM E	i	0,147	0,133	0,127	0,110	0,103	0,180	0,280	0,293	0,303	0,277	0,297	0,190
	a	0,243	0,253	0,190	0,123	0,077	0,053	0,033	0,055	0,057	0,065	0,082	0,143
FM F	i	0,000	0,000	0,024	0,038	0,062	0,065	0,115	0,238	0,241	0,224	0,212	0,194
	a	0,088	0,135	0,174	0,177	0,185	0,135	0,094	0,062	0,038	0,053	0,059	0,044
FM G	i	0,000	0,041	0,059	0,068	0,085	0,188	0,291	0,303	0,306	0,329	0,324	0,315
	a	0,088	0,129	0,112	0,097	0,088	0,082	0,041	0,103	0,135	0,141	0,157	0,150
FM H	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,035	0,085	0,188	0,235	0,259	0,312	0,368
	a	0,150	0,135	0,059	0,044	0,047	0,091	0,100	0,103	0,124	0,109	0,088	0,050
FM K	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,036	0,047	0,078	0,181	0,256	0,244	0,242	0,197
	a	0,033	0,133	0,228	0,181	0,104	0,039	0,000	0,000	0,000	0,000	0,039	0,050
FM L	i	0,000	0,053	0,063	0,106	0,134	0,150	0,195	0,231	0,242	0,250	0,252	0,259
	a	0,081	0,109	0,200	0,206	0,153	0,134	0,131	0,122	0,120	0,116	0,075	0,009
FM M	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,059	0,119	0,222	0,297	0,388	0,403
	a	0,000	0,000	0,000	0,031	0,047	0,088	0,089	0,106	0,050	0,038	0,028	0,000
Mittelwerte	i	0,013	0,022	0,026	0,036	0,060	0,139	0,142	0,204	0,241	0,253	0,264	0,184
	a	0,098	0,137	0,147	0,133	0,112	0,094	0,070	0,067	0,063	0,071	0,077	0,071
Standardabweichung	i	0,044	0,041	0,041	0,042	0,045	0,066	0,088	0,077	0,068	0,080	0,094	0,121
	a	0,062	0,059	0,068	0,059	0,047	0,031	0,039	0,041	0,051	0,047	0,046	0,058

Tabelle 12: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung mit *KaVo ENDOfash®*/ NiTi/ StepBack in mm (Wurzelkanal im Kunststoffblock); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt) (Kanalbezeichnung K 4, 12, 17, 19, 20, 22, 28, 29, 32, 37, 40)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K 4	i	0,057	0,060	0,067	0,067	0,125	0,300	0,397	0,513	0,563	0,643	0,667	0,627
	a	0,420	0,783	1,020	1,013	0,630	0,288	0,120	0,110	0,123	0,133	0,133	0,107
K 12	i	0,093	0,097	0,097	0,100	0,102	0,113	0,180	0,277	0,373	0,467	0,613	0,692
	a	0,267	0,283	0,270	0,263	0,260	0,240	0,170	0,133	0,123	0,103	0,105	0,083
K 17	i	0,035	0,043	0,044	0,047	0,062	0,088	0,127	0,194	0,259	0,303	0,341	0,394
	a	0,191	0,174	0,159	0,147	0,132	0,100	0,087	0,115	0,118	0,129	0,150	0,147
K 19	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,028	0,038	0,059	0,125	0,169	0,247	0,291	0,275
	a	0,063	0,056	0,034	0,038	0,053	0,075	0,072	0,066	0,075	0,081	0,084	0,091
K 20	i	0,000	0,000	0,000	0,031	0,038	0,047	0,072	0,138	0,164	0,184	0,209	0,281
	a	0,084	0,119	0,153	0,138	0,072	0,072	0,059	0,000	0,000	0,038	0,063	0,072
K 22	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,029	0,103	0,127	0,129	0,182	0,224	0,259
	a	0,065	0,079	0,097	0,124	0,079	0,050	0,038	0,047	0,053	0,056	0,059	0,056
K 28	i	0,000	0,000	0,000	0,033	0,049	0,064	0,072	0,128	0,157	0,156	0,115	0,000
	a	0,075	0,147	0,183	0,161	0,097	0,094	0,065	0,036	0,000	0,032	0,050	0,108
K 29	i	0,042	0,057	0,058	0,061	0,061	0,071	0,072	0,097	0,158	0,186	0,189	0,169
	a	0,081	0,092	0,122	0,124	0,111	0,108	0,103	0,078	0,061	0,064	0,069	0,125
K 32	i	0,000	0,000	0,000	0,056	0,059	0,065	0,079	0,132	0,203	0,253	0,291	0,362
	a	0,071	0,085	0,112	0,121	0,121	0,118	0,074	0,059	0,047	0,053	0,059	0,071
K 37	i	0,000	0,044	0,053	0,056	0,059	0,071	0,091	0,115	0,141	0,171	0,197	0,200
	a	0,077	0,159	0,182	0,179	0,138	0,106	0,047	0,000	0,000	0,044	0,053	0,082
K 40	i	0,000	0,013	0,022	0,031	0,047	0,056	0,078	0,147	0,238	0,359	0,478	0,544
	a	0,066	0,069	0,097	0,078	0,072	0,069	0,000	0,000	0,038	0,038	0,056	0,059
Mittelwerte	i	0,021	0,029	0,031	0,044	0,057	0,086	0,121	0,181	0,232	0,286	0,329	0,346
	a	0,133	0,186	0,221	0,217	0,160	0,120	0,076	0,059	0,058	0,070	0,080	0,091
Standardabweichung	i	0,032	0,034	0,035	0,029	0,034	0,075	0,098	0,121	0,130	0,152	0,181	0,207
	a	0,115	0,208	0,272	0,270	0,165	0,075	0,045	0,048	0,048	0,037	0,034	0,028

Tabelle 13: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung mit *KaVo ENDOfash®* / NiTi/ CrownDown in mm (Wurzelkanal im Kunststoffblock); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt) (Kanalbezeichnung K 8, 9, 11, 16, 21, 25, 34, 35, 36)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K 8	i	0,025	0,039	0,047	0,051	0,061	0,061	0,064	0,094	0,147	0,147	0,156	0,158
	a	0,053	0,072	0,072	0,103	0,128	0,150	0,124	0,092	0,056	0,056	0,063	0,067
K 9	i	0,044	0,059	0,066	0,069	0,075	0,077	0,109	0,181	0,184	0,188	0,247	0,244
	a	0,084	0,178	0,281	0,303	0,266	0,181	0,133	0,125	0,069	0,078	0,084	0,094
K 11	i	0,038	0,066	0,075	0,084	0,088	0,089	0,094	0,106	0,150	0,188	0,228	0,238
	a	0,056	0,063	0,081	0,116	0,153	0,116	0,100	0,084	0,059	0,106	0,119	0,169
K 16	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,041	0,044	0,063	0,103	0,184	0,197	0,275	0,297
	a	0,050	0,128	0,156	0,138	0,122	0,088	0,078	0,081	0,089	0,103	0,075	0,103
K 21	i	0,000	0,000	0,017	0,025	0,038	0,059	0,063	0,078	0,084	0,100	0,116	0,125
	a	0,072	0,075	0,084	0,094	0,091	0,066	0,050	0,019	0,025	0,028	0,059	0,078
K 25	i	0,013	0,022	0,059	0,063	0,070	0,088	0,109	0,113	0,119	0,125	0,222	0,247
	a	0,113	0,113	0,100	0,088	0,088	0,084	0,044	0,000	0,056	0,078	0,038	0,019
K 34	i	0,033	0,050	0,053	0,058	0,059	0,097	0,125	0,153	0,194	0,169	0,122	0,078
	a	0,069	0,113	0,125	0,150	0,100	0,095	0,088	0,066	0,063	0,088	0,097	0,103
K 35	i	0,040	0,060	0,070	0,087	0,088	0,093	0,097	0,143	0,203	0,177	0,123	0,117
	a	0,107	0,153	0,190	0,160	0,140	0,097	0,087	0,063	0,063	0,067	0,113	0,117
K 36	i	0,000	0,000	0,056	0,072	0,078	0,081	0,088	0,095	0,122	0,141	0,156	0,175
	a	0,088	0,091	0,100	0,145	0,147	0,088	0,078	0,059	0,000	0,047	0,094	0,094
Mittelwerte	i	0,021	0,033	0,049	0,057	0,066	0,077	0,090	0,118	0,154	0,159	0,183	0,187
	a	0,077	0,110	0,132	0,144	0,137	0,107	0,087	0,065	0,053	0,072	0,082	0,094
Standardabweichung	i	0,018	0,028	0,025	0,028	0,018	0,018	0,023	0,033	0,040	0,033	0,061	0,073
	a	0,023	0,039	0,068	0,065	0,054	0,036	0,030	0,038	0,026	0,026	0,026	0,040

Tabelle 14: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung mit KaVo *ENDOf*lash®/ Edelstahl/ StepBack in mm (Wurzelkanal im Kunststoffblock); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt) (Kanalbezeichnung K 2, 5, 10, 13, 15, 24, 26, 38, 39, 41)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K 2	i	0,034	0,038	0,052	0,056	0,067	0,081	0,153	0,225	0,247	0,206	0,191	0,188
	a	0,181	0,241	0,178	0,069	0,000	0,000	0,000	0,069	0,113	0,116	0,125	0,138
K 5	i	0,029	0,038	0,044	0,047	0,053	0,059	0,077	0,144	0,153	0,171	0,200	0,188
	a	0,141	0,324	0,300	0,185	0,106	0,091	0,074	0,081	0,091	0,106	0,106	0,109
K 10	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,034	0,194	0,339	0,369	0,409	0,422	0,378	0,338
	a	0,294	0,581	0,719	0,478	0,331	0,091	0,000	0,000	0,034	0,044	0,066	0,125
K 13	i	0,047	0,063	0,066	0,075	0,081	0,097	0,184	0,291	0,419	0,500	0,550	0,613
	a	0,353	0,553	0,409	0,259	0,200	0,153	0,106	0,066	0,000	0,000	0,047	0,059
K 15	i	0,050	0,050	0,052	0,056	0,059	0,084	0,156	0,209	0,256	0,322	0,336	0,363
	a	0,356	0,478	0,488	0,325	0,119	0,078	0,041	0,072	0,075	0,081	0,084	0,100
K 24	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,034	0,078	0,213	0,288	0,359	0,381	0,384	0,294
	a	0,256	0,425	0,344	0,266	0,178	0,100	0,000	0,000	0,000	0,025	0,056	0,088
K 26	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	0,041	0,131	0,234	0,309	0,394	0,419	0,328
	a	0,206	0,275	0,244	0,163	0,156	0,113	0,063	0,000	0,000	0,078	0,088	0,113
K 38	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,062	0,088	0,118	0,156	0,194	0,171	0,094	0,088
	a	0,206	0,385	0,238	0,079	0,032	0,000	0,000	0,050	0,065	0,085	0,100	0,129
K 39	i	0,021	0,024	0,044	0,053	0,059	0,112	0,197	0,291	0,341	0,377	0,300	0,215
	a	0,185	0,332	0,316	0,171	0,088	0,044	0,041	0,035	0,047	0,074	0,079	0,103
K 41	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027	0,050	0,129	0,200	0,268	0,294	0,329
	a	0,068	0,188	0,435	0,344	0,206	0,103	0,029	0,000	0,000	0,000	0,041	0,062
Mittelwerte	i	0,018	0,021	0,026	0,029	0,047	0,086	0,162	0,234	0,289	0,321	0,315	0,294
	a	0,225	0,378	0,367	0,234	0,142	0,077	0,035	0,037	0,043	0,061	0,079	0,103
Standardabweichung	i	0,021	0,024	0,028	0,031	0,024	0,046	0,081	0,077	0,093	0,113	0,131	0,142
	a	0,091	0,131	0,156	0,127	0,095	0,049	0,037	0,034	0,042	0,042	0,027	0,027

Tabelle 15: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung mit *ENDOf*lash®/ Edelstahl/ CrownDown in mm (Wurzelkanal im Kunststoffblock); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt) (Kanalbezeichnung K 1, 6, 7, 14, 18, 23, 27, 30, 31, 33)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<u>K 1</u>	i	0,050	0,094	0,097	0,100	0,106	0,150	0,259	0,369	0,447	0,450	0,450	0,472
	a	0,222	0,450	0,406	0,231	0,125	0,084	0,075	0,097	0,108	0,119	0,138	0,147
<u>K 6</u>	i	0,032	0,035	0,047	0,050	0,059	0,074	0,177	0,221	0,300	0,329	0,294	0,285
	a	0,238	0,265	0,206	0,141	0,106	0,065	0,094	0,106	0,127	0,129	0,118	0,115
<u>K 7</u>	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,034	0,056	0,059	0,134	0,197	0,244	0,250	0,256
	a	0,344	0,119	0,163	0,238	0,384	0,228	0,138	0,063	0,000	0,063	0,091	0,038
<u>K 14</u>	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,033	0,038	0,106	0,184	0,250	0,284	0,269	0,309
	a	0,188	0,272	0,200	0,103	0,063	0,050	0,000	0,000	0,056	0,075	0,091	0,181
<u>K 18</u>	i	0,011	0,019	0,022	0,025	0,038	0,041	0,094	0,161	0,281	0,341	0,366	0,413
	a	0,138	0,156	0,159	0,144	0,131	0,097	0,088	0,113	0,113	0,119	0,120	0,125
<u>K 23</u>	i	0,000	0,000	0,053	0,062	0,065	0,072	0,106	0,185	0,247	0,297	0,306	0,271
	a	0,032	0,035	0,041	0,065	0,071	0,038	0,129	0,132	0,106	0,106	0,044	0,024
<u>K 27</u>	i	0,000	0,000	0,047	0,069	0,072	0,106	0,225	0,275	0,300	0,316	0,266	0,238
	a	0,350	0,278	0,244	0,216	0,150	0,144	0,141	0,097	0,050	0,069	0,084	0,041
<u>K 30</u>	i	0,000	0,000	0,038	0,063	0,066	0,113	0,188	0,225	0,303	0,275	0,228	0,225
	a	0,194	0,372	0,388	0,253	0,213	0,200	0,059	0,000	0,000	0,000	0,022	0,038
<u>K 31</u>	i	0,034	0,050	0,056	0,059	0,081	0,181	0,281	0,347	0,413	0,450	0,438	0,341
	a	0,109	0,244	0,275	0,263	0,163	0,078	0,034	0,050	0,066	0,081	0,088	0,089
<u>K 33</u>	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,100	0,200	0,325	0,331	0,384	0,381	0,378	0,234
	a	0,153	0,275	0,328	0,381	0,250	0,156	0,000	0,078	0,144	0,150	0,197	0,288
<u>Mittelwerte</u>	i	0,013	0,020	0,036	0,043	0,065	0,103	0,182	0,243	0,312	0,337	0,325	0,304
	a	0,197	0,247	0,241	0,204	0,166	0,114	0,076	0,074	0,077	0,091	0,099	0,109
<u>Standardabweichung</u>	i	0,019	0,032	0,031	0,035	0,026	0,058	0,090	0,083	0,079	0,071	0,079	0,082
	a	0,099	0,120	0,112	0,092	0,096	0,065	0,053	0,045	0,051	0,043	0,049	0,083

Tabelle 16: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung von Hand mit *Flexoreamer®*/ StepBack in mm (Wurzelkanal im Kunststoffblock); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt) (Kanalbezeichnung H 7, 8, 9, 14, 19, 31, 32, 33, 35)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<u>H 7</u>	i	0,000	0,000	0,077	0,078	0,138	0,191	0,266	0,275	0,288	0,263	0,263	0,225
	a	0,113	0,216	0,247	0,231	0,122	0,069	0,000	0,000	0,047	0,056	0,103	0,141
<u>H 8</u>	i	0,000	0,059	0,063	0,128	0,213	0,306	0,381	0,397	0,409	0,413	0,363	0,231
	a	0,113	0,266	0,341	0,288	0,156	0,044	0,000	0,000	0,000	0,053	0,125	0,150
<u>H 9</u>	i	0,000	0,000	0,000	0,097	0,113	0,216	0,319	0,397	0,375	0,350	0,247	0,125
	a	0,109	0,169	0,209	0,206	0,169	0,072	0,025	0,000	0,000	0,047	0,141	0,222
<u>H 14</u>	i	0,000	0,000	0,091	0,184	0,280	0,353	0,422	0,463	0,525	0,419	0,381	0,275
	a	0,059	0,119	0,147	0,092	0,091	0,063	0,034	0,000	0,000	0,023	0,050	0,063
<u>H 19</u>	i	0,027	0,063	0,087	0,117	0,158	0,220	0,313	0,358	0,413	0,447	0,433	0,393
	a	0,107	0,073	0,113	0,140	0,142	0,148	0,137	0,090	0,070	0,072	0,073	0,073
<u>H 31</u>	i	0,000	0,000	0,070	0,133	0,140	0,140	0,167	0,227	0,292	0,293	0,287	0,190
	a	0,113	0,370	0,517	0,540	0,493	0,408	0,283	0,147	0,077	0,023	0,030	0,080
<u>H 32</u>	i	0,033	0,053	0,057	0,078	0,123	0,180	0,263	0,317	0,357	0,357	0,307	0,193
	a	0,173	0,313	0,400	0,413	0,380	0,257	0,100	0,087	0,037	0,080	0,100	0,133
<u>H 33</u>	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027	0,047	0,110	0,180	0,227	0,215	0,168	0,120
	a	0,070	0,073	0,080	0,127	0,140	0,150	0,080	0,053	0,003	0,033	0,060	0,113
<u>H 35</u>	i	0,130	0,067	0,075	0,083	0,107	0,122	0,153	0,217	0,200	0,130	0,063	0,023
	a	0,040	0,123	0,150	0,143	0,140	0,123	0,050	0,000	0,017	0,073	0,103	0,143
<u>Mittelwerte</u>	i	0,021	0,027	0,058	0,100	0,144	0,197	0,266	0,315	0,343	0,321	0,279	0,197
	a	0,100	0,202	0,245	0,242	0,204	0,148	0,079	0,042	0,028	0,051	0,087	0,124
<u>Standardabweichung</u>	i	0,043	0,032	0,034	0,051	0,071	0,093	0,106	0,096	0,102	0,105	0,113	0,105
	a	0,039	0,107	0,147	0,149	0,137	0,117	0,089	0,055	0,031	0,022	0,036	0,049

Tabelle 17: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung von Hand mit *Flexoreamer®*/ CrownDown in mm (Wurzelkanal im Kunststoffblock); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt) (Kanalbezeichnung H 1, 4, 6, 16, 17, 51, 52, 53, 54, 55)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<u>H 1</u>	i	0,000	0,059	0,094	0,119	0,191	0,238	0,338	0,438	0,453	0,416	0,391	0,369
	a	0,088	0,116	0,175	0,175	0,109	0,072	0,044	0,044	0,053	0,069	0,075	0,091
<u>H 4</u>	i	0,000	0,000	0,000	0,097	0,163	0,309	0,400	0,525	0,463	0,313	0,159	0,031
	a	0,047	0,100	0,075	0,056	0,038	0,034	0,000	0,000	0,047	0,050	0,091	0,244
<u>H 6</u>	i	0,000	0,000	0,000	0,076	0,153	0,274	0,377	0,435	0,438	0,418	0,391	0,327
	a	0,024	0,035	0,165	0,121	0,056	0,000	0,000	0,000	0,038	0,079	0,050	0,047
<u>H 16</u>	i	0,000	0,000	0,041	0,144	0,206	0,259	0,278	0,325	0,331	0,322	0,253	0,206
	a	0,000	0,000	0,000	0,041	0,084	0,106	0,106	0,128	0,138	0,141	0,144	0,169
<u>H 17</u>	i	0,000	0,000	0,000	0,111	0,228	0,353	0,363	0,447	0,425	0,375	0,344	0,231
	a	0,059	0,163	0,166	0,144	0,119	0,113	0,094	0,105	0,106	0,120	0,125	0,128
<u>H 51</u>	i	0,000	0,003	0,009	0,013	0,100	0,113	0,156	0,228	0,213	0,198	0,172	0,125
	a	0,038	0,081	0,094	0,078	0,066	0,069	0,088	0,116	0,128	0,150	0,163	0,188
<u>H 52</u>	i	0,047	0,064	0,113	0,150	0,218	0,225	0,281	0,347	0,330	0,278	0,188	0,123
	a	0,038	0,088	0,080	0,078	0,066	0,063	0,059	0,023	0,025	0,028	0,108	0,169
<u>H 53</u>	i	0,000	0,000	0,000	0,066	0,138	0,203	0,253	0,256	0,281	0,247	0,231	0,178
	a	0,100	0,150	0,141	0,131	0,072	0,019	0,023	0,044	0,044	0,047	0,055	0,081
<u>H 54</u>	i	0,000	0,000	0,000	0,050	0,106	0,228	0,316	0,350	0,294	0,223	0,156	0,100
	a	0,031	0,059	0,075	0,094	0,097	0,075	0,044	0,000	0,000	0,063	0,134	0,159
<u>H 55</u>	i	0,000	0,000	0,108	0,227	0,341	0,421	0,477	0,488	0,553	0,453	0,388	0,356
	a	0,124	0,188	0,141	0,132	0,062	0,071	0,079	0,100	0,103	0,088	0,088	0,074
<u>Mittelwerte</u>	i	0,005	0,013	0,037	0,105	0,184	0,262	0,324	0,384	0,378	0,324	0,267	0,205
	a	0,055	0,098	0,111	0,105	0,077	0,062	0,054	0,056	0,068	0,084	0,103	0,135
<u>Standardabweichung</u>	i	0,015	0,026	0,049	0,060	0,071	0,085	0,089	0,098	0,104	0,089	0,101	0,116
	a	0,038	0,059	0,056	0,042	0,025	0,036	0,038	0,052	0,047	0,041	0,038	0,061

Tabelle 18: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung von Hand mit *Flexofile®*/ StepBack in mm (Wurzelkanal im Kunststoffblock); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt) (Kanalbezeichnung H 2, 3, 11, 13, 18, 46, 47, 48, 49, 50)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
H 2	i	0,000	0,000	0,044	0,047	0,122	0,231	0,338	0,306	0,284	0,259	0,250	0,241
	a	0,113	0,166	0,281	0,247	0,159	0,106	0,053	0,000	0,000	0,066	0,081	0,162
H 3	i	0,000	0,000	0,000	0,075	0,147	0,216	0,319	0,397	0,381	0,284	0,203	0,094
	a	0,075	0,175	0,225	0,169	0,100	0,053	0,000	0,000	0,000	0,070	0,141	0,259
H 11	i	0,038	0,047	0,063	0,075	0,102	0,131	0,175	0,239	0,288	0,303	0,303	0,294
	a	0,081	0,084	0,088	0,105	0,103	0,063	0,044	0,000	0,000	0,000	0,034	0,038
H 13	i	0,000	0,000	0,000	0,085	0,165	0,221	0,265	0,356	0,356	0,335	0,282	0,200
	a	0,091	0,094	0,112	0,088	0,056	0,053	0,044	0,000	0,000	0,000	0,059	0,082
H 18	i	0,000	0,000	0,000	0,041	0,077	0,129	0,174	0,229	0,244	0,271	0,215	0,088
	a	0,044	0,094	0,097	0,106	0,100	0,079	0,079	0,050	0,056	0,059	0,071	0,079
H 46	i	0,034	0,056	0,094	0,122	0,200	0,288	0,319	0,381	0,478	0,466	0,431	0,400
	a	0,097	0,100	0,109	0,108	0,103	0,100	0,081	0,081	0,084	0,089	0,094	0,103
H 47	i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,044	0,088	0,153	0,156	0,194	0,166	0,069
	a	0,088	0,091	0,119	0,081	0,072	0,038	0,088	0,106	0,116	0,075	0,047	0,044
H 48	i	0,073	0,062	0,063	0,077	0,177	0,187	0,242	0,293	0,343	0,347	0,323	0,253
	a	0,067	0,137	0,147	0,140	0,087	0,027	0,025	0,020	0,023	0,035	0,037	0,083
H 49	i	0,023	0,042	0,057	0,110	0,193	0,342	0,407	0,397	0,337	0,293	0,253	0,123
	a	0,203	0,193	0,165	0,153	0,133	0,057	0,000	0,013	0,022	0,023	0,040	0,083
H 50	i	0,070	0,023	0,030	0,087	0,147	0,230	0,250	0,273	0,307	0,350	0,297	0,233
	a	0,133	0,227	0,220	0,193	0,143	0,110	0,078	0,037	0,000	0,033	0,040	0,043
Mittelwerte	i	0,024	0,023	0,035	0,072	0,133	0,202	0,258	0,302	0,317	0,310	0,272	0,200
	a	0,099	0,136	0,156	0,139	0,106	0,069	0,049	0,031	0,030	0,045	0,064	0,098
Standardabweichung	i	0,029	0,026	0,034	0,035	0,061	0,084	0,094	0,081	0,086	0,072	0,074	0,106
	a	0,044	0,051	0,065	0,053	0,032	0,029	0,033	0,038	0,042	0,031	0,034	0,067

Tabelle 19: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung von Hand mit *Flexofile®*/ CrownDown in mm (Wurzelkanal im Kunststoffblock); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt) (Kanalbezeichnung H 5, 10, 12, 15, 20, 41, 42, 43, 44, 45)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
H 5	i	0,000	0,000	0,000	0,072	0,094	0,156	0,222	0,350	0,384	0,419	0,406	0,369
	a	0,103	0,181	0,206	0,166	0,106	0,066	0,000	0,000	0,000	0,022	0,050	0,075
H 10	i	0,000	0,000	0,000	0,031	0,106	0,166	0,225	0,263	0,319	0,347	0,366	0,363
	a	0,069	0,088	0,122	0,181	0,094	0,072	0,063	0,053	0,050	0,000	0,000	0,022
H 12	i	0,052	0,057	0,063	0,133	0,263	0,317	0,417	0,537	0,572	0,503	0,373	0,247
	a	0,143	0,150	0,140	0,135	0,130	0,123	0,143	0,173	0,180	0,193	0,195	0,220
H 15	i	0,033	0,050	0,080	0,095	0,178	0,273	0,390	0,493	0,465	0,390	0,297	0,240
	a	0,138	0,150	0,165	0,150	0,130	0,087	0,083	0,070	0,075	0,090	0,095	0,107
H 20	i	0,000	0,000	0,000	0,102	0,188	0,250	0,284	0,356	0,359	0,369	0,353	0,313
	a	0,125	0,138	0,122	0,109	0,091	0,077	0,075	0,072	0,059	0,058	0,038	0,028
H 41	i	0,000	0,000	0,000	0,034	0,088	0,178	0,244	0,297	0,222	0,184	0,075	0,041
	a	0,053	0,100	0,134	0,134	0,178	0,131	0,088	0,063	0,075	0,148	0,172	0,250
H 42	i	0,038	0,053	0,094	0,147	0,203	0,294	0,369	0,381	0,384	0,347	0,263	0,181
	a	0,109	0,143	0,169	0,159	0,153	0,125	0,095	0,081	0,056	0,065	0,081	0,119
H 43	i	0,000	0,000	0,000	0,035	0,041	0,056	0,147	0,185	0,212	0,191	0,165	0,118
	a	0,029	0,032	0,050	0,056	0,088	0,085	0,044	0,015	0,000	0,000	0,024	0,074
H 44	i	0,000	0,063	0,128	0,269	0,369	0,434	0,466	0,500	0,522	0,466	0,375	0,275
	a	0,097	0,138	0,113	0,084	0,000	0,000	0,025	0,059	0,078	0,081	0,098	0,103
H 45	i	0,038	0,044	0,045	0,059	0,097	0,166	0,225	0,331	0,369	0,384	0,369	0,341
	a	0,059	0,063	0,106	0,131	0,150	0,103	0,084	0,033	0,034	0,038	0,059	0,063
Mittelwerte	i	0,061	0,027	0,041	0,098	0,163	0,229	0,299	0,369	0,381	0,360	0,304	0,249
	a	0,093	0,118	0,133	0,131	0,112	0,087	0,070	0,062	0,061	0,070	0,081	0,106
Standardabweichung	i	0,021	0,029	0,048	0,073	0,099	0,107	0,104	0,112	0,116	0,104	0,108	0,108
	a	0,039	0,046	0,042	0,038	0,049	0,038	0,040	0,047	0,051	0,062	0,062	0,075

Tabelle 20: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung mit *EndoStepper®* / *FlexMaster®* in mm (extrahierte Zähne); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt)
(Kanalbezeichnung FM I, III, IV, V, VI, VII, XIII, Res D)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<u>FM I</u>	i	0,069	0,091	0,120	0,135	0,093	0,056	0,054	0,044	0,036
	a	0,382	0,470	0,274	0,100	0,072	0,137	0,150	0,178	0,208
<u>FM III</u>	i	0,039	0,046	0,066	0,078	0,095	0,107	0,120	0,146	0,151
	a	0,156	0,249	0,193	0,183	0,066	0,039	0,051	0,059	0,149
<u>FM IV</u>	i	0,058	0,106	0,163	0,167	0,140	0,077	0,067	0,065	0,050
	a	0,119	0,118	0,115	0,104	0,029	0,075	0,248	0,413	0,452
<u>FM V</u>	i	0,092	0,181	0,208	0,217	0,223	0,154	0,073	0,067	0,060
	a	0,192	0,258	0,263	0,140	0,131	0,260	0,325	0,404	0,415
<u>FM VI</u>	i	0,125	0,150	0,189	0,222	0,225	0,153	0,122	0,114	0,111
	a	0,150	0,151	0,094	0,072	0,092	0,108	0,078	0,078	0,110
<u>FM VII</u>	i	0,046	0,068	0,095	0,098	0,163	0,137	0,073	0,062	0,059
	a	0,146	0,132	0,061	0,054	0,039	0,068	0,085	0,124	0,185
<u>FM XIII</u>	i	0,056	0,092	0,154	0,198	0,200	0,145	0,112	0,069	0,055
	a	0,136	0,220	0,278	0,169	0,096	0,131	0,178	0,255	0,289
<u>Res D</u>	i	0,070	0,165	0,171	0,250	0,265	0,165	0,120	0,098	0,056
	a	0,117	0,093	0,067	0,065	0,028	0,118	0,154	0,178	0,200
<u>Mittelwerte</u>	i	0,069	0,112	0,146	0,171	0,176	0,124	0,093	0,083	0,072
	a	0,175	0,211	0,168	0,111	0,069	0,117	0,159	0,211	0,251
<u>Standardabweichung</u>	i	0,028	0,048	0,048	0,062	0,063	0,040	0,028	0,034	0,039
	a	0,087	0,121	0,095	0,048	0,036	0,067	0,092	0,137	0,124

Tabelle 21: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung mit *KaVo ENDOfash®*/ NiTi/ StepBack in mm (extrahierte Zähne); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt)
(Kanalbezeichnung K I, IX, XI, XIX, XX, XXII, XXIII, XXIV)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<u>K I</u>	i	0,000	0,000	0,081	0,127	0,121	0,200	0,210	0,179	0,154
	a	0,133	0,110	0,090	0,029	0,000	0,060	0,083	0,092	0,158
<u>K IX</u>	i	0,000	0,032	0,139	0,166	0,163	0,183	0,124	0,122	0,117
	a	0,117	0,083	0,071	0,042	0,073	0,088	0,095	0,078	0,076
<u>K XI</u>	i	0,021	0,042	0,044	0,075	0,052	0,110	0,106	0,054	0,048
	a	0,085	0,104	0,148	0,133	0,075	0,023	0,098	0,135	0,200
<u>K XIX</u>	i	0,046	0,131	0,154	0,185	0,200	0,146	0,060	0,050	0,035
	a	0,102	0,100	0,092	0,088	0,050	0,075	0,148	0,263	0,308
<u>K XX</u>	i	0,082	0,115	0,191	0,069	0,211	0,063	0,043	0,033	0,024
	a	0,219	0,109	0,070	0,020	0,089	0,163	0,257	0,263	0,369
<u>K XXII</u>	i	0,143	0,202	0,232	0,300	0,274	0,263	0,254	0,244	0,211
	a	0,159	0,144	0,117	0,074	0,065	0,209	0,274	0,396	0,411
<u>K XXIII</u>	i	0,033	0,063	0,120	0,174	0,126	0,254	0,311	0,282	0,225
	a	0,078	0,139	0,054	0,033	0,022	0,046	0,070	0,091	0,156
<u>K XXIV</u>	i	0,000	0,050	0,072	0,089	0,078	0,122	0,057	0,052	0,043
	a	0,133	0,065	0,057	0,056	0,044	0,011	0,111	0,122	0,178
<u>Mittelwerte</u>	i	0,041	0,079	0,129	0,148	0,153	0,168	0,146	0,127	0,107
	a	0,128	0,107	0,087	0,059	0,052	0,084	0,142	0,180	0,232
<u>Standardabweichung</u>	i	0,050	0,066	0,063	0,076	0,074	0,070	0,101	0,097	0,082
	a	0,045	0,026	0,032	0,038	0,030	0,069	0,080	0,115	0,117

Tabelle 22: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung mit *KaVo ENDOfash®*/ NiTi/ CrownDown in mm (extrahierte Zähne); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt) (Kanalbezeichnung K IV, VII, XIII, XXV, XXVI, XXVII, XXVIII, Res B, Res D)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<u>K IV</u>	i	0,124	0,195	0,242	0,249	0,281	0,283	0,288	0,290	0,298
	a	0,142	0,110	0,105	0,107	0,059	0,039	0,098	0,122	0,159
<u>K VII</u>	i	0,142	0,167	0,215	0,242	0,290	0,308	0,330	0,300	0,225
	a	0,142	0,242	0,181	0,254	0,146	0,088	0,115	0,117	0,127
<u>K XIII</u>	i	0,078	0,107	0,120	0,122	0,171	0,176	0,178	0,185	0,122
	a	0,151	0,112	0,078	0,034	0,129	0,190	0,251	0,242	0,220
<u>K XXV</u>	i	0,100	0,209	0,352	0,337	0,283	0,137	0,057	0,041	0,034
	a	0,169	0,163	0,137	0,093	0,146	0,159	0,169	0,189	0,220
<u>K XXVI</u>	i	0,023	0,033	0,065	0,077	0,129	0,117	0,110	0,079	0,071
	a	0,123	0,150	0,058	0,115	0,033	0,067	0,098	0,104	0,125
<u>K XXVII</u>	i	0,142	0,242	0,238	0,206	0,200	0,190	0,179	0,154	0,123
	a	0,077	0,035	0,096	0,067	0,098	0,106	0,133	0,168	0,198
<u>K XXVIII</u>	i	0,030	0,067	0,078	0,106	0,063	0,057	0,056	0,047	0,033
	a	0,033	0,070	0,065	0,020	0,078	0,083	0,089	0,109	0,122
<u>Res B</u>	i	0,027	0,071	0,077	0,140	0,150	0,156	0,113	0,056	0,050
	a	0,104	0,079	0,050	0,065	0,048	0,079	0,110	0,029	0,025
<u>Res D</u>	i	0,070	0,165	0,171	0,250	0,327	0,165	0,120	0,104	0,078
	a	0,117	0,093	0,065	0,067	0,028	0,118	0,243	0,289	0,303
<u>Mittelwerte</u>	i	0,082	0,140	0,173	0,192	0,210	0,177	0,159	0,140	0,115
	a	0,118	0,117	0,093	0,091	0,085	0,103	0,145	0,152	0,167
<u>Standardabweichung</u>	i	0,048	0,073	0,097	0,086	0,089	0,078	0,096	0,101	0,091
	a	0,042	0,061	0,043	0,068	0,047	0,047	0,062	0,079	0,080

Tabelle 23: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung mit *KaVo ENDOfash®*/ Edelstahl/ StepBack in mm (extrahierte Zähne); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt)
(Kanalbezeichnung K III, V, VIII, XXX, XXXI, XXXII, XXXIII, XXXIV)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<u>K III</u>	i	0,000	0,132	0,249	0,263	0,249	0,202	0,129	0,122	0,100
	a	0,095	0,122	0,120	0,095	0,068	0,015	0,095	0,102	0,113
<u>K V</u>	i	0,000	0,042	0,075	0,208	0,189	0,056	0,027	0,025	0,021
	a	0,074	0,083	0,077	0,071	0,117	0,144	0,171	0,383	0,406
<u>K VIII</u>	i	0,075	0,296	0,317	0,292	0,175	0,135	0,108	0,102	0,056
	a	0,188	0,117	0,075	0,025	0,046	0,140	0,213	0,219	0,303
<u>K XXX</u>	i	0,115	0,175	0,181	0,117	0,067	0,042	0,029	0,027	0,025
	a	0,260	0,054	0,038	0,063	0,192	0,204	0,156	0,033	0,020
<u>K XXXI</u>	i	0,000	0,000	0,087	0,233	0,374	0,389	0,176	0,141	0,132
	a	0,374	0,083	0,032	0,000	0,159	0,307	0,396	0,428	0,455
<u>K XXXII</u>	i	0,000	0,154	0,207	0,241	0,254	0,359	0,382	0,422	0,478
	a	0,096	0,109	0,024	0,028	0,048	0,100	0,124	0,141	0,189
<u>K XXXIII</u>	i	0,113	0,220	0,360	0,383	0,243	0,165	0,140	0,113	0,101
	a	0,255	0,182	0,045	0,033	0,348	0,377	0,403	0,448	0,485
<u>K XXXIV</u>	i	0,071	0,100	0,152	0,113	0,042	0,040	0,033	0,025	0,021
	a	0,135	0,092	0,048	0,060	0,088	0,098	0,152	0,171	0,196
<u>Mittelwerte</u>	i	0,047	0,140	0,204	0,231	0,199	0,174	0,128	0,122	0,117
	a	0,185	0,105	0,057	0,047	0,133	0,173	0,214	0,241	0,271
<u>Standardabweichung</u>	i	0,052	0,095	0,102	0,089	0,107	0,137	0,117	0,130	0,152
	a	0,105	0,038	0,032	0,031	0,101	0,119	0,120	0,159	0,169

Tabelle 24: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung mit *KaVo ENDOfash®*/Edelstahl/ CrownDown in mm (extrahierte Zähne); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt)
(Kanalbezeichnung K XIV, XVI, XVIII, XXXV, XXXVI, XXXVIII, IXL, Res A)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<u>K XIV</u>	i	0,133	0,335	0,194	0,100	0,094	0,079	0,062	0,054	0,042
	a	0,138	0,000	0,077	0,083	0,144	0,175	0,204	0,223	0,278
<u>K XVI</u>	i	0,031	0,146	0,223	0,217	0,215	0,204	0,194	0,188	0,146
	a	0,273	0,183	0,131	0,221	0,242	0,252	0,258	0,260	0,288
<u>K XVIII</u>	i	0,029	0,044	0,115	0,208	0,267	0,194	0,160	0,113	0,106
	a	0,292	0,294	0,196	0,125	0,000	0,158	0,173	0,183	0,469
<u>K XXXV</u>	i	0,082	0,137	0,157	0,183	0,178	0,176	0,159	0,144	0,132
	a	0,307	0,198	0,196	0,152	0,213	0,215	0,128	0,122	0,120
<u>K XXXVI</u>	i	0,112	0,115	0,122	0,185	0,193	0,210	0,185	0,168	0,154
	a	0,139	0,195	0,242	0,239	0,134	0,116	0,129	0,102	0,042
<u>K XXXVIII</u>	i	0,120	0,145	0,195	0,152	0,140	0,130	0,080	0,076	0,045
	a	0,142	0,117	0,073	0,000	0,040	0,042	0,047	0,058	0,100
<u>K IXL</u>	i	0,106	0,250	0,254	0,204	0,154	0,075	0,054	0,033	0,029
	a	0,077	0,050	0,031	0,044	0,067	0,075	0,054	0,050	0,048
<u>Res A</u>	i	0,030	0,050	0,117	0,144	0,207	0,200	0,176	0,144	0,132
	a	0,104	0,137	0,148	0,078	0,044	0,035	0,124	0,133	0,145
<u>Mittelwerte</u>	i	0,080	0,153	0,172	0,174	0,181	0,159	0,132	0,115	0,098
	a	0,184	0,147	0,137	0,118	0,111	0,134	0,140	0,141	0,186
<u>Standardabweichung</u>	i	0,044	0,098	0,053	0,040	0,053	0,056	0,058	0,056	0,051
	a	0,091	0,092	0,073	0,083	0,087	0,080	0,071	0,075	0,147

Tabelle 25: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung von Hand mit *Flexoreamer®*/ StepBack in mm (extrahierte Zähne); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt)
(Kanalbezeichnung H XXI, XXII, XXIII, XXIV, XXV, XXVII, XX, XXVI)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8
<u>H XXI</u>	i	0,000	0,050	0,059	0,087	0,052	0,046	0,041	0,037
	a	0,048	0,041	0,032	0,000	0,044	0,054	0,056	0,078
<u>H XXII</u>	i	0,063	0,293	0,310	0,337	0,307	0,230	0,145	0,122
	a	0,063	0,057	0,055	0,040	0,082	0,182	0,412	0,480
<u>H XXIII</u>	i	0,033	0,063	0,120	0,126	0,174	0,254	0,311	0,282
	a	0,078	0,139	0,054	0,033	0,022	0,046	0,070	0,091
<u>H XXIV</u>	i	0,085	0,337	0,458	0,267	0,253	0,215	0,197	0,155
	a	0,133	0,065	0,032	0,067	0,213	0,317	0,338	0,356
<u>H XXV</u>	i	0,046	0,085	0,126	0,202	0,137	0,128	0,033	0,032
	a	0,172	0,070	0,041	0,022	0,019	0,117	0,248	0,400
<u>H XXVII</u>	i	0,063	0,306	0,343	0,285	0,167	0,128	0,111	0,102
	a	0,182	0,091	0,139	0,144	0,274	0,346	0,369	0,385
<u>H XX</u>	i	0,054	0,255	0,310	0,189	0,175	0,123	0,120	0,100
	a	0,115	0,108	0,048	0,072	0,158	0,274	0,288	0,316
<u>H XXVI</u>	i	0,061	0,178	0,257	0,224	0,198	0,165	0,130	0,114
	a	0,085	0,110	0,098	0,055	0,118	0,176	0,213	0,288
<u>Mittelwerte</u>	i	0,051	0,196	0,248	0,215	0,183	0,161	0,136	0,118
	a	0,110	0,085	0,062	0,054	0,116	0,189	0,249	0,299
<u>Standardabweichung</u>	i	0,025	0,117	0,135	0,083	0,076	0,069	0,089	0,078
	a	0,050	0,033	0,037	0,043	0,093	0,115	0,131	0,144

Tabelle 26: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung von Hand mit *Flexoreamer*[®]/ CrownDown in mm (extrahierte Zähne); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt)
(Kanalbezeichnung H XXIX, XXX, XXXI, XXXIII, XXXIV, XXXV, XXXVI, XXVIII)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<u>H XXIX</u>	i	0,044	0,090	0,196	0,148	0,077	0,075	0,063	0,056	0,040
	a	0,125	0,117	0,040	0,090	0,100	0,133	0,158	0,181	0,196
<u>H XXX</u>	i	0,069	0,117	0,133	0,146	0,110	0,108	0,058	0,029	0,020
	a	0,138	0,079	0,021	0,113	0,152	0,154	0,075	0,069	0,062
<u>H XXXI</u>	i	0,188	0,285	0,267	0,060	0,053	0,032	0,027	0,024	0,018
	a	0,172	0,068	0,130	0,135	0,143	0,323	0,347	0,369	0,402
<u>H XXXIII</u>	i	0,000	0,000	0,000	0,081	0,152	0,179	0,235	0,081	0,073
	a	0,242	0,206	0,148	0,054	0,000	0,000	0,040	0,069	0,100
<u>H XXXIV</u>	i	0,156	0,315	0,420	0,444	0,198	0,100	0,091	0,067	0,056
	a	0,180	0,152	0,065	0,026	0,048	0,161	0,163	0,196	0,212
<u>H XXXV</u>	i	0,000	0,122	0,139	0,157	0,163	0,261	0,222	0,089	0,056
	a	0,282	0,119	0,113	0,074	0,052	0,053	0,096	0,182	0,221
<u>H XXXVI</u>	i	0,000	0,039	0,198	0,366	0,402	0,327	0,302	0,166	0,129
	a	0,398	0,322	0,129	0,059	0,073	0,124	0,127	0,063	0,061
<u>H XXVIII</u>	i	0,078	0,114	0,156	0,222	0,123	0,098	0,080	0,066	0,054
	a	0,262	0,208	0,144	0,100	0,118	0,206	0,256	0,314	0,338
<u>Mittelwerte</u>	i	0,067	0,135	0,189	0,203	0,160	0,148	0,135	0,072	0,056
	a	0,225	0,159	0,099	0,081	0,086	0,144	0,158	0,180	0,199
<u>Standardabweichung</u>	i	0,072	0,110	0,121	0,136	0,108	0,101	0,102	0,044	0,035
	a	0,090	0,084	0,050	0,035	0,052	0,097	0,101	0,115	0,090

Tabelle 27: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung von Hand mit *Flexofile®*/ StepBack in mm (extrahierte Zähne); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt)
(Kanalbezeichnung H I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<u>H I</u>	i	0,222	0,367	0,372	0,235	0,125	0,033	0,028	0,020	0,017
	a	0,177	0,050	0,038	0,063	0,072	0,043	0,037	0,035	0,028
<u>H II</u>	i	0,000	0,181	0,198	0,151	0,027	0,024	0,021	0,017	0,010
	a	0,044	0,037	0,163	0,227	0,232	0,144	0,127	0,102	0,095
<u>H III</u>	i	0,048	0,058	0,208	0,371	0,529	0,381	0,279	0,244	0,220
	a	0,231	0,113	0,040	0,000	0,000	0,075	0,310	0,383	0,411
<u>H IV</u>	i	0,100	0,359	0,457	0,330	0,252	0,248	0,241	0,217	0,200
	a	0,211	0,139	0,043	0,135	0,285	0,402	0,526	0,541	0,552
<u>H V</u>	i	0,046	0,085	0,242	0,471	0,573	0,240	0,077	0,067	0,056
	a	0,125	0,138	0,052	0,050	0,058	0,358	0,512	0,569	0,622
<u>H VI</u>	i	0,107	0,112	0,307	0,734	1,132	1,305	1,224	0,537	0,448
	a	0,263	0,332	0,290	0,161	0,071	0,132	0,154	0,166	0,417
<u>H VII</u>	i	0,193	0,376	0,420	0,288	0,198	0,151	0,129	0,117	0,088
	a	0,115	0,000	0,068	0,156	0,166	0,200	0,204	0,337	0,527
<u>H VIII</u>	i	0,082	0,272	0,348	0,320	0,282	0,194	0,126	0,107	0,096
	a	0,143	0,020	0,000	0,059	0,174	0,391	0,419	0,511	0,554
<u>H IX</u>	i	0,000	0,182	0,359	0,380	0,294	0,252	0,189	0,180	0,163
	a	0,044	0,165	0,163	0,096	0,098	0,115	0,300	0,433	0,498
<u>Mittelwerte</u>	i	0,089	0,221	0,323	0,364	0,379	0,314	0,257	0,167	0,144
	a	0,150	0,110	0,095	0,105	0,128	0,207	0,288	0,342	0,412
<u>Standardabweichung</u>	i	0,078	0,126	0,092	0,166	0,332	0,388	0,373	0,160	0,136
	a	0,078	0,102	0,092	0,070	0,092	0,140	0,173	0,198	0,210

Tabelle 28: Abweichung vom Originalkanal, Mittelwerte und Standardabweichung nach der Aufbereitung von Hand mit *Flexofile®*/ CrownDown in mm (extrahierte Zähne); gemessene Minimal- (rot dargestellt) und Maximalwerte (blau dargestellt) (Kanalbezeichnung H X, XI, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XVIII)
i = Innenkurvatur
a = Außenkurvatur
Mp = Messpunkt

Mp		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<u>H X</u>	i	0,000	0,063	0,132	0,089	0,085	0,072	0,067	0,052	0,045
	a	0,052	0,050	0,044	0,119	0,128	0,178	0,187	0,189	0,212
<u>H XI</u>	i	0,098	0,259	0,281	0,215	0,163	0,095	0,078	0,073	0,066
	a	0,202	0,010	0,078	0,085	0,088	0,090	0,237	0,581	0,610
<u>H XII</u>	i	0,127	0,222	0,261	0,215	0,198	0,146	0,146	0,031	0,020
	a	0,127	0,156	0,154	0,093	0,051	0,056	0,085	0,123	0,155
<u>H XIII</u>	i	0,039	0,178	0,346	0,263	0,161	0,139	0,137	0,132	0,120
	a	0,322	0,185	0,022	0,046	0,122	0,134	0,161	0,188	0,159
<u>H XIV</u>	i	0,143	0,247	0,352	0,428	0,323	0,230	0,192	0,156	0,139
	a	0,178	0,065	0,082	0,028	0,092	0,152	0,343	0,369	0,422
<u>H XV</u>	i	0,267	0,448	0,290	0,075	0,038	0,035	0,033	0,029	0,027
	a	0,094	0,000	0,144	0,204	0,206	0,221	0,281	0,179	0,119
<u>H XVI</u>	i	0,051	0,234	0,293	0,346	0,354	0,259	0,249	0,171	0,150
	a	0,312	0,224	0,182	0,200	0,273	0,312	0,427	0,610	0,698
<u>H XVII</u>	i	0,142	0,258	0,356	0,267	0,200	0,167	0,083	0,079	0,069
	a	0,142	0,156	0,138	0,052	0,046	0,060	0,152	0,346	0,406
<u>H XVIII</u>	i	0,135	0,169	0,204	0,242	0,229	0,183	0,100	0,094	0,075
	a	0,194	0,169	0,081	0,065	0,077	0,158	0,169	0,175	0,198
<u>Mittelwerte</u>	i	0,111	0,231	0,279	0,238	0,195	0,147	0,121	0,091	0,079
	a	0,180	0,113	0,103	0,089	0,120	0,151	0,227	0,307	0,331
<u>Standardabweichung</u>	i	0,077	0,102	0,074	0,111	0,101	0,073	0,068	0,052	0,047
	a	0,091	0,082	0,054	0,064	0,075	0,081	0,107	0,183	0,213

Tabelle 29: Aufbereitungszeiten bei der Präparation normierter Kanäle im Kunststoffblock
t = Aufbereitungszeit in s

<u>EndoStepper/FlexMaster</u>		<u>ENDOfash/NiTi/ CrownDown</u>		<u>ENDOfash/NiTi/ StepBack</u>		<u>ENDOfash/Edelstahl/ CrownDown</u>		<u>ENDOfash/Edelstahl/ StepBack</u>		<u>Hand/Flexoreamer/ CrownDown</u>		<u>Hand/Flexoreamer/ StepBack</u>		<u>Hand/Flexofile/ CrownDown</u>		<u>Hand/Flexofile/ StepBack</u>	
<u>FM</u>	t	<u>K</u>	t	<u>K</u>	t	<u>K</u>	t	<u>K</u>	t	<u>H</u>	t	<u>H</u>	t	<u>H</u>	t	<u>H</u>	t
A	1116	8	120	4	952	1	526	2	244	1	783	7	896	5	971	2	647
B	972	9	625	12	1197	6	511	5	340	4	550	8	1233	10	654	3	642
C	789	11	385	17	570	7	552	10	732	6	691	9	904	12	535	11	570
D	714	16	488	19	392	14	669	13	807	16	616	14	907	15	844	13	685
E	736	21	381	20	590	18	519	15	377	17	759	19	549	20	963	18	637
F	753	25	361	22	557	23	635	24	571	51	799	31	1004	41	517	46	1550
G	744	34	570	28	592	27	514	26	313	52	1427	32	889	42	699	47	520
H	825	35	452	29	646	30	625	38	403	53	1075	33	575	43	414	48	823
K	651	36	513	32	661	31	446	39	517	54	388	35	511	44	1198	49	1258
L	699			37	600	33	382	41	376	55	1021			45	574	50	756
M	618			40	693												
<u>Mittelwert</u>	784	=	433	=	677	=	538	=	468	=	811	=	830	=	737	=	809

Tabelle 30: Aufbereitungszeiten bei der Präparation gekrümmter Wurzelkanäle extrahierter Zähne
t = Aufbereitungszeit in s

<u>EndoStepper/FlexMaster</u>		<u>ENDOfash/NiTi/ CrownDown</u>		<u>ENDOfash/NiTi/ StepBack</u>		<u>ENDOfash/Edelstahl/ CrownDown</u>		<u>ENDOfash/Edelstahl/ StepBack</u>		<u>Hand/Flexoreamer/ CrownDown</u>		<u>Hand/Flexoreamer/ StepBack</u>		<u>Hand/Flexofile/ CrownDown</u>		<u>Hand/Flexofile/ StepBack</u>	
<u>FM</u>	t	<u>K</u>	t	<u>K</u>	t	<u>K</u>	t	<u>K</u>	t	<u>H</u>	t	<u>H</u>	t	<u>H</u>	t	<u>H</u>	t
I	683	IV	373	I	575	XIV	377	III	500	XXXIX	823	XXI	585	I	950	X	368
III	483	VII	928	IX	525	XVI	380	V	463	XXX	633	XXII	489	II	1002	XI	402
IV	516	XIII	397	XI	454	XVIII	497	VIII	687	XXXI	617	XXIII	534	III	708	XII	333
V	447	XXV	390	XIX	429	XXXV	478	XXX	295	XXXIII	523	XXIV	563	IV	2002	XIII	542
VI	689	XXVI	524	XX	408	XXXVI	387	XXXI	578	XXXIV	330	XXV	320	V	553	XIV	684
VII	227	XXVII	329	XXII	341	XXXVII	519	XXXII	334	XXXV	443	XXVII	539	VI	1953	XV	547
XIII	339	XXVIII	256	XXIII	323	IXL	321	XXXIII	485	XXXVI	491	XX	471	VII	728	XVI	1142
Res D	356	Res B	285	XXIV	571	Res A	346	XXXIV	297	XXVIII	519	XXVI	751	VIII	881	XVII	707
		Res D	356											IX	1458	XVIII	517
<u>Mittelwert</u>	468	=	426	=	453	=	413	=	455	=	547	=	532	=	1137	=	582

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Ulrike Nestler
Geburtsdatum/-ort: 02. Januar 1979 in Zwickau
Familienstand: ledig
Eltern: Dagmar Nestler, Zahnärztin (Dipl.-Med.)
Frank Nestler, Dipl.-Ing. für Informationstechnik und Bionik
Anschrift: Wettiner Str. 24; 04105 Leipzig

Schul Ausbildung

1985-1987 POS Karl Marx, Zwickau
1987-1991 POS Julius Fučík, Zwickau
1991-1997 Käthe-Kollwitz-Gymnasium Zwickau; Abschluß: Abitur

Hochschulausbildung

10/1997 – 01/2003 Studium der Zahnmedizin an der FSU Jena
12/2002 Zahnärztliche Prüfung
01/2003 Approbation als Zahnärztin

Beruflicher Werdegang

06/2003-06/2004 Ausbildungsassistentin in der ZAP Wölle, Jena
05/2004-11/2005 Ausbildungsassistentin in der ZAP Jäger, Leipzig
seit 11/2005 Angestellte Zahnärztin in der ZAP Dr. Matzel, Halle/S.

Studienbegleitende Tätigkeiten

1997-2001 mehrere drei- bis vierwöchige Praktika im
Seniorenpflegeheim Schönfels
09/2001 – 03/2003 Nachtdienste in der Klinik für Mund-, Kiefer- und
Gesichtschirurgie/ Plastische Chirurgie der FSU Jena

Leipzig, den 20.06.2006

Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Glockmann, der mir das Thema zur Verfügung gestellt und mich als Doktorvater mit wissenschaftlichen Ratschlägen und Anregungen, Korrekturlesen und Berichtigen meines Manuskriptes und nicht zuletzt mit viel Geduld auf dem Weg zur Promotion betreut hat.

Meinen Eltern danke ich ganz herzlich dafür, dass sie es mir ermöglicht haben, meinen Weg zu gehen und mich bis hierher immer mit viel Liebe und Vertrauen unterstützt haben.

Außerdem danke ich meinem Freund Peter. Durch seine Motivierung und die Kraft, die er mir gegeben hat, ist diese Arbeit zu einem erfolgreichen Ende gekommen.

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

Prof. Dr. E. Glockmann (Poliklinik f. Kons. ZHK d. FSU Jena) als Doktorvater,

Dr. R. Vollandt (Institut f. Med. Statistik, Informatik und Dokumentation d. FSU Jena) bei der statistischen Auswertung,

S. Crnic (Zahnarzt) bei der Vorbereitung des praktischen Teils,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Leipzig, den 20.06.2006